



Régulation de la circulation et aménagement des carrefours suite à la mise en place d'un transport collectif en site propre. L'exemple des deux premières lignes de tramway de l'agglomération dijonnaise

Pierre Collet

► To cite this version:

Pierre Collet. Régulation de la circulation et aménagement des carrefours suite à la mise en place d'un transport collectif en site propre. L'exemple des deux premières lignes de tramway de l'agglomération dijonnaise. Gestion et management. 2009. dumas-00563928

HAL Id: dumas-00563928

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00563928>

Submitted on 7 Feb 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RAPPORT DE STAGE

Régulation de la circulation et aménagement des carrefours à la mise en place d'un TCSP.



L'exemple des deux lignes de tramways de l'agglomération dijonnaise.

Directeur de Stage :
Mademoiselle Morgan GUYOMARC'H

Composition du Jury :
Monsieur Patrick BONNEL
Monsieur Ludovic LECLERCQ

Auteur :
Monsieur Pierre COLLET

FICHE BIBLIOGRAPHIQUE

[Intitulé du diplôme] Master Professionnel Transports Urbains et Régionaux de Personnes (TURP)		
[Tutelles] - Université Lumière Lyon 2 - Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE)		
[Titre] Régulation de la circulation et aménagement des carrefours suite à la mise en place d'un transport collectif en site propre		
[Sous-titre] L'exemple des deux premières lignes de tramway de l'agglomération dijonnaise		
[Auteur] Pierre COLLET		
[Membres du Jury (nom et affiliation)] Morgan GUYOMARC'H, EGIS Mobilité Lyon, Ingénieur d'affaires Ludovic LECLERCQ, Laboratoire LICIT (ingénierie des transports) Patrick BONNEL, LET-ENTPE ; Enseignant-chercheur		
[Nom et adresse du lieu du stage] EGIS Mobilité Lyon 78, rue de la Villette 69425 Lyon Cedex		
[Résumé] <p>De plus en plus de villes moyennes investissent dans des transports collectifs en site propre, c'est le cas de l'agglomération de Dijon qui mettra en service ces deux premières lignes de tramway à l'horizon 2013. Rapportée à la taille de l'agglomération, l'étendue du tracé est très ambitieuse, d'autant plus que la ville a fait le choix de faire passer le transport collectif en site propre quasi systématiquement par les axes et les noeuds structurants du réseau de voirie. Dans la mesure où ces axes comptent parmi les plus fréquentés du réseau routier de l'agglomération, le projet va ainsi, mécaniquement, prendre de l'espace et du temps à la voiture particulière. Il va donc nécessairement changer les comportements des automobilistes. Mais modifier ces comportements dans une ville ne doit pas pour autant signifier une dégradation de la mobilité et de l'accessibilité au cœur de l'agglomération. En effet il faut, d'une part, rendre attractif cette nouvelle alternative, et d'autre part s'assurer que les déplacements, qui continueront à se faire en voiture, n'augmenteront pas la congestion et la pollution sur d'autres axes.</p> <p>Ce rapport montre les mesures qui doivent être appliqués à l'échelle de la ville et des carrefours pour s'assurer de ne pas causer d'effets secondaires non souhaités et de maîtriser pleinement le report de la circulation.</p> <p>Cela passe par une évaluation des trafics à l'horizon de la mise en service, la détermination des carrefours stratégiques, la construction de l'aménagement et du fonctionnement adéquat de chacun des carrefours tout en assurant la priorité absolue au tramway.</p> <p>Cette stratégie de régulation s'accompagne généralement d'une hiérarchisation de la voirie, d'une limitation des places de stationnement, d'une restructuration du réseau et du développement de l'intermodalité, qui, une fois combinés, donneront toute la mesure de la force d'un transport collectif en site propre.</p>		
[Mots clés] transport collectif en site propre, régulation, aménagement, fonctionnement carrefour, report, évaluation, trafic, intermodalité, priorité absolue tramway, hiérarchisation voirie	Diffusion : - papier : [oui/non]* - électronique : [oui/non]* (* : Rayer la mention inutile) Confidentiel jusqu'au :	
[Date de publication] 30 septembre 2009	[Nombre de pages] 80	[Bibliographie (nombre)] 14

PUBLICATION DATA FORM

[Entitled of Diploma] Master Degree Diploma in Urban and Regional Passenger Transport Studies		
[Supervision by authorities] - Université Lumière Lyon 2 - Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE)		
[Title] Traffic regulation and crossroads arrangement following start of collective transport in bus lane		
[Subtitle] For exemple the first two tramway of the urban area of Dijon (France)		
[Author] Pierre COLLET		
[Members of the Jury (name and affiliation)] Morgan GUYOMARCH, EGIS Mobilité Lyon, Business engineer Ludovic LECLERCQ, Laboratory LICIT (Transport ingenieering) Patrick BONNEL, LET-ENTPE ; Teacher-researcher		
[Place of training] EGIS Mobilité Lyon (France) 78, rue de la Villette 69425 Lyon Cedex		
[Summary] More and more mid-sized cities invest in collective transport in bus lane. This is the case of the urban area of Dijon that will open its first two tramlines by 2013. In relation to the size of the urban area, the stretch of the plan seems to be very ambitious as the city chose to cross the TCSP almost systematically through the main axes and structuring nodes of the road network. Since those axes are ones of the busiest of the town's road network, the project is inevitably going to reduce space and time of cars. Thus, it is inevitably going to change the behaviors of the motorists. However, modifying these habits in a city shall not necessarily result in a decrease of mobility and accessibility within the urban center. Indeed, on the one hand, it requires to make this new alternative appealing and, on the other hand, to make sure that the movement, which will continue to be made by car, will not increase the congestion and the pollution on other axes. This report shows the measures which must be applied at the city scale and the crossroads to avoid undesirable side effects and to master the transfer of the traffic. This involves an evaluation of the traffic from the start of the operations, the determination of the strategic crossroads, the construction of the arrangement and adequate organization of each of the crossroads while prioritizing the circulation of the tramway. This strategy of regulation generally comes along with a hierarchical organization of the public road network, a limitation of parking places, a new structure of the network and the development of intermodality. Once combined, these elements should enable an effective and reliable public transportation service.		
[Key Words] collective transport in bus lane, tramway, regulation, arrangement, intermodality	Distribution statement : - Paper : [yes / no] - Electronic : [yes / no] (* Scratch the useless mention) Declassification date :	
[Publication date] 2009 September, 30	[Nb of pages] 80	[Bibliography] 14

SOMMAIRE

FICHE BIBLIOGRAPHIQUE	1
PUBLICATION DATA FORM.....	2
SOMMAIRE.....	3
REMERCIEMENT	4
GLOSSAIRE	5
INTRODUCTION	6
1. CADRAGE DU SUJET	7
1.1. PRESENTATION GENERALE	7
1.2. CONTEXTE.....	9
1.3. LES ENJEUX DE LA MISE EN PLACE D'UN TCSP	17
2. CONSTRUCTION D'UNE STRATEGIE GLOBALE POUR L'ORGANISATION DES DEPLACEMENTS.....	21
2.1. LES OBJECTIFS	21
2.2. LES PRINCIPES DE LA STRATEGIE	24
2.3. LES MESURES PREALABLES A LA MISE EN ŒUVRE DE LA STRATEGIE.....	32
SYNTHESE PARTIE 2	42
3. ETUDE TECHNIQUE POUR L'AMENAGEMENT ET LA REGULATION DES CARREFOURS	43
3.1. RENDRE COHERENT L'AMENAGEMENT ET LE FONCTIONNEMENT	43
3.2. FONCTIONNEMENT DES CARREFOURS : PRISE EN COMPTE DE LA PRIORITE TRAMWAY	57
3.3. CONSTRUCTION DU DOSSIER DE FONCTIONNEMENT	60
SYNTHESE PARTIE 3	71
CONCLUSION	72
BIBLIOGRAPHIE.....	74
LES MISSIONS REALISEES LORS DU STAGE	75
TABLE DES MATIERES.....	76
TABLES DES ILLUSTRATIONS.....	78
ANNEXES	79

REMERCIEMENT

Un grand merci à M Mathieu BARRADEL, pour m'avoir mis en relation avec Egis Mobilité Lyon, et à Mme Marion GABOLDE, pour la confiance qu'elle m'a témoignée en m'accueillant.

Je remercie Mlle Morgan GUYOMARC'H pour sa précieuse aide et pour le temps qu'elle m'a consacré.

Mes remerciements vont aussi à M Patrick BONNEL ainsi qu'à M Bruno FAIVRE D'ARCIER pour avoir toujours pris le temps de répondre à l'ensemble de mes questions et pour leur investissement tout au long de cette année riche en enseignements.

Un merci à l'ensemble des acteurs rencontrés tout au long de ce stage, pour leur investissement et leur appui dans leur domaine de compétence.

GLOSSAIRE

TCSP : Transport Collectif en Site Propre

PDU : Plan de Déplacement Urbain

TC : Transports Collectifs

HPS/HPM: Heure de Pointe du Soir/ Heure de Pointe du Matin

HC : Heure Creuse

P+R : Parc Relais

Lianes : Bus à très bon niveau de service de Dijon

PMR : Personne à Mobilité Réduite

VP : Voiture Particulière

TAG/TD/TAD : Tourne-à-gauche/Tout droit/Tourne-à-droite

STRMTG : Le Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés

EOQA : Expert ou Organisme Qualifié Agréé

INTRODUCTION

Dijon ne déroge pas à la règle et voit son aire urbaine s'agrandir du fait de la séparation croissante de l'habitat et du travail. Cet étalement se constate dans beaucoup de villes françaises et il n'est plus à démontrer que plus les lieux de résidences sont éloignés du centre et de la proche banlieue, plus le recours à la voiture et la distance quotidienne des individus sont élevés. De plus, le réseau viaire tel qu'il a été mis en place et la gestion qui en est faite aujourd'hui font que les flux de transit au cœur de l'agglomération sont devenus majoritaires. Enfin, devant la saturation du réseau de transport collectif de l'agglomération, Dijon se doit de franchir un seuil important si elle veut offrir une alternative intéressante aux automobilistes.

Toutefois, Dijon a l'avantage, au regard d'autres villes françaises, d'être plus concentré, les flux de déplacements sont donc principalement radiaux ce qui paraît être favorable à la mise en place des deux lignes de tramway qui raccorderont l'extrémité Nord, Sud et Est de l'agglomération, au centre ville.

C'est ce qui a amené le Grand Dijon, autorité organisatrice des transports urbains, à lancer un appel d'offre en 2007 concernant le marché de maîtrise d'œuvre générale pour la construction des deux premières lignes de tramway qui seront mise en route à l'horizon 2013.

Egis Mobilité prend part dans ce projet pour les volets de régulation, de circulation et d'aménagement dans le « groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail-Alfred Peter ». Ces volets sont essentiels pour assurer la performance d'un transport collectif en site propre.

Ce rapport est une feuille de route indiquant les principales mesures qui accompagnent la mise en place du tramway pour qu'une ville puisse maîtriser et contrôler le trafic automobile.

1. Cadrage du sujet

Avant de se pencher sur la problématique et de bien saisir tous les enjeux d'un tel projet, cette première partie décrit succinctement EGIS Mobilité et l'appel d'offre du Grand Dijon. Nous exposons ensuite l'état des lieux des déplacements dans l'agglomération dijonnaise afin de mieux saisir la pertinence du choix, pour le Grand Dijon, de la mise en place des deux lignes de tramway qui verront le jour en 2013.

1.1. Présentation générale

1.1.1 EGIS Mobilité

EGIS Mobilité fait partie du groupe EGIS, constitué d'une vingtaine de filiales à travers le monde (cf Annexe 1 et 2 p79)

EGIS Mobilité a été créée en 1990, c'est une société anonyme au capital de 2,3M d'euros. Le chiffre d'affaire 2008 s'élève à 22M d'euros.

191 hommes et femmes y travaillent dont 85% sont des ingénieurs et des cadres. Ils sont répartis à travers une dizaine d'agences situées sur le territoire national et en Belgique (cf Annexe 3 p80).

Son offre se divise en 3 types de prestations :

- Etudes et conseil
- Ingénierie des équipements et des systèmes (assistance à maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre)
- Assistance à l'exploitation

Et agit dans 5 types d'activités (cf annexe 4 p80):

- Collecter les paiements (péage, télé péage, billettique)
- Transporter l'information (télécoms)
- Assister l'utilisateur (sécurité, signalisation)
- Gérer le trafic (gestion du trafic, supervision, régulation, équipements exploitation)
- Penser la mobilité (économie des transports, organisation des déplacements, systèmes de transport intelligents)

Les missions qui ont été confiées à Egis Mobilité pour l'étude des deux lignes de tramway de Dijon relevaient des deux derniers types d'activités, et plus précisément de la gestion du trafic et de l'organisation des déplacements.

1.1.2 L'appel d'offre

Le Grand Dijon, autorité organisatrice des transports urbains, a lancé en 2007, un appel d'offre restreint concernant le marché de maîtrise d'œuvre générale pour la construction des

deux premières lignes de tramway de Dijon pour une enveloppe financière prévisionnelle proche de 250 000 000 d'euros (euros 2007). (*Ce marché est passé en application des dispositions de l'article 74-II du Code des Marchés Publics, de l'article 7 de la loi MOP et ses décrets d'application, notamment le décret 93-1268 du 29 novembre 1993 et l'arrêté du 21 décembre 1993*).

Les missions confiées au Titulaire portent sur :

- des missions normalisées :

Études préliminaires et de diagnostic (EP-DIA), études d'avant-projet (AVP) et de projet (PRO), assistance au Maître d'Ouvrage pour la passation des marchés de travaux (ACT), études d'exécution (EXE) ou mission visa (VISA), direction de l'exécution des travaux (DET), ordonnancement, coordination et pilotage (OPC) ainsi que l'assistance lors des opérations de réception (AOR).

- des missions complémentaires :

Coordination avec les autres intervenants (CAI), assistance à la consultation du public (ACP), direction des essais d'ensemble du système de transport (ESSAIS), établissement des marchés de reconnaissance et contrôle et suivi des prestations (EXT), préparation des dossiers de sécurité (SECU), établissement de l'étude d'impact (IMPACT), direction de la cellule de synthèse et mise en place du système d'échange de données informatisées (SYN), conception et mise en œuvre du plan de communication (COMM).

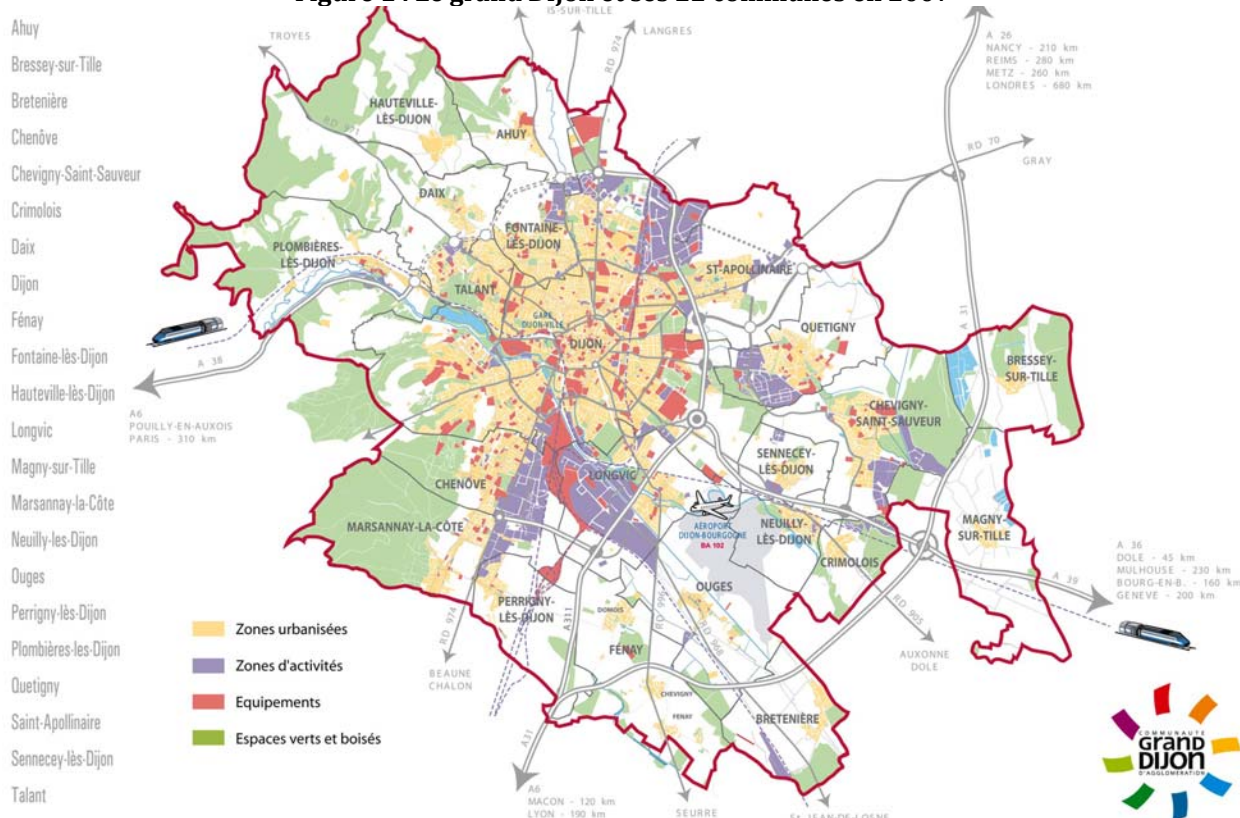
Ainsi, EGIS Rail a remporté le marché en co-traitant avec le cabinet d'Alfred Peter, Architecte, paysagiste. L'étude est donc menée par le « Groupement de Maîtrise d'Œuvre Egis Rail-Alfred Peter ». EGIS Mobilité prend part dans ce projet en tant que sous-traitant d'EGIS Rail. La société intervient dans les phases d'avant projet et de projet pour les volets de régulation, de circulation et d'aménagement.

1.2 Contexte

1.2.1 L'agglomération dijonnaise

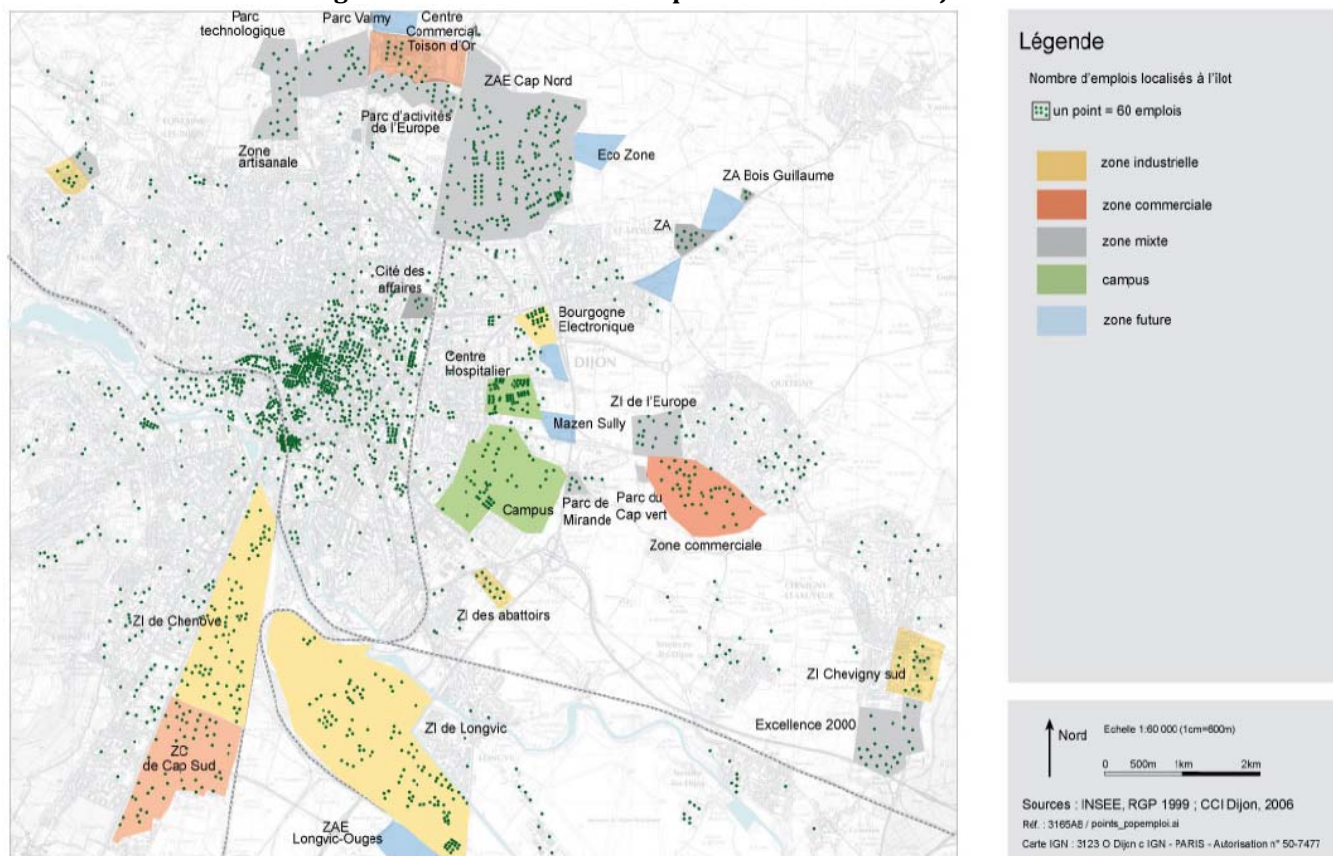
Le Grand Dijon, autorité organisatrice des transports urbains, sur un périmètre limité à 22 communes, se situe au 17ème rang national des 171 communautés d'agglomération pour l'importance de sa population (251 700 habitants) avec un territoire de 21 934 hectares. Il regroupe 63% de la population de l'aire urbaine, 49 % de celle de Côte d'Or et 15,6 % des Bourguignons.

Figure 1 : Le grand Dijon et ses 22 communes en 2007



L'ensemble de ces quartiers regroupe les trois quarts des emplois de la ville et seulement un tiers de ses habitants. Les autres quartiers dijonnais, comme ceux des communes nord et sud, sont davantage des espaces résidentiels. Dans ces communes périphériques, les emplois sont principalement localisés dans les zones dédiées aux activités industrielles ou commerciales principalement les zones industrielles de Longvic, de Chenôve et de Saint-Apollinaire ainsi que les zones d'activité commerciale (ZAC) de Marsannay-la-Côte ou de Quetigny. Talant, Fontaine-lès-Dijon et Chenôve (hors zone industrielle et commerciale) sont des espaces plus résidentiels.

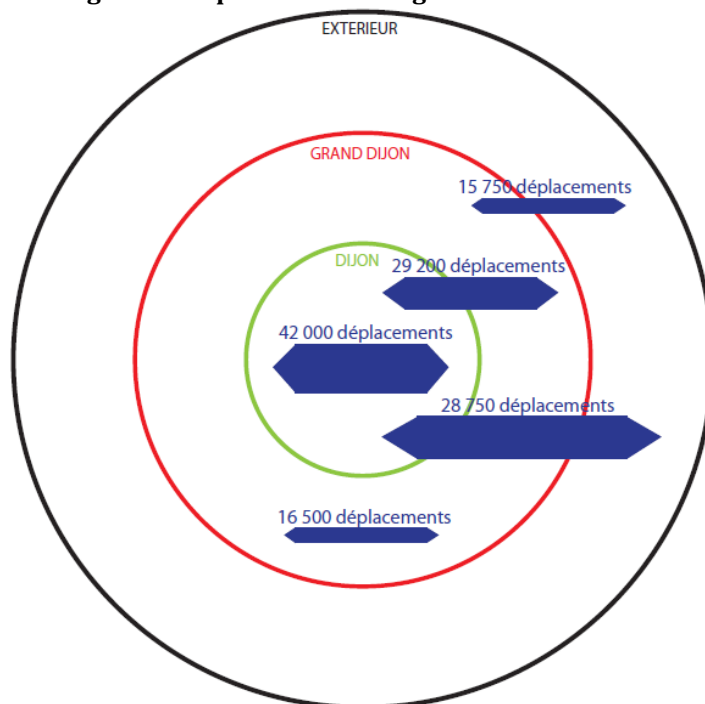
Figure 2 : Localisation des emplois dans le Grand Dijon



Source : Groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail-Alfred Peter, études préliminaires

1.2.1.1 Séparation croissante entre le domicile et le travail peu favorable aux modes doux

Les mouvements pendulaires domicile-travail entre les communes périurbaines et Dijon ont tendance à augmenter : entre 1990 et 1999 le nombre d'emplois dijonnais a augmenté de 2.8% alors que les actifs du Grand Dijon sont un peu moins nombreux à les occuper. Parmi les actifs de l'aire urbaine de Dijon, 27.1% déclaraient en 1968 travailler dans une commune différente de celle où ils résidaient, ce taux s'élevait à 49.8% en 1982, 53.7% en 1990 et 58.1% en 1999.

Figure 3 : Répartition des migrations alternantes

Source : INSEE 1999

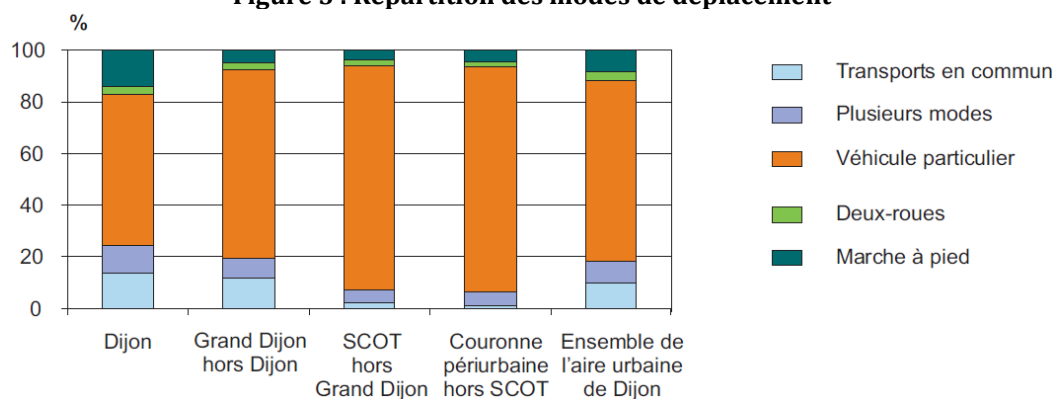
Cet étalement urbain n'est pas sans poser de problèmes en heure de pointe concernant la congestion et la pollution au regard des distances et des modes utilisés pour ces déplacements. Dijon accueille plus de 50% d'actifs venant des communes périphériques et extérieures au Grand Dijon. Inversement, Dijon envoie 30% de ses résidents travailler en périphérie.

Les flux principaux de déplacements sont radiaux et viennent majoritairement du sud et de l'est, il existe peu de demande de rocade significative.

Figure 4 : Principaux flux d'actifs

Au vu des modes de déplacement, le constat est le même qu'au niveau national : les actifs de la zone périurbaine de Dijon sont proportionnellement les plus nombreux à utiliser la voiture pour se rendre à leur travail (87 %). Ils ne sont que 72 % lorsqu'ils résident dans une commune périphérique de Dijon et 58 % lorsqu'ils habitent Dijon même. Les transports en commun sont utilisés par 10 % des actifs en moyenne mais ce sont surtout les actifs résidant à Dijon (14%) et ceux qui résident dans une autre commune du Grand Dijon (12 %) qui y ont recours.

Figure 5 : Répartition des modes de déplacement

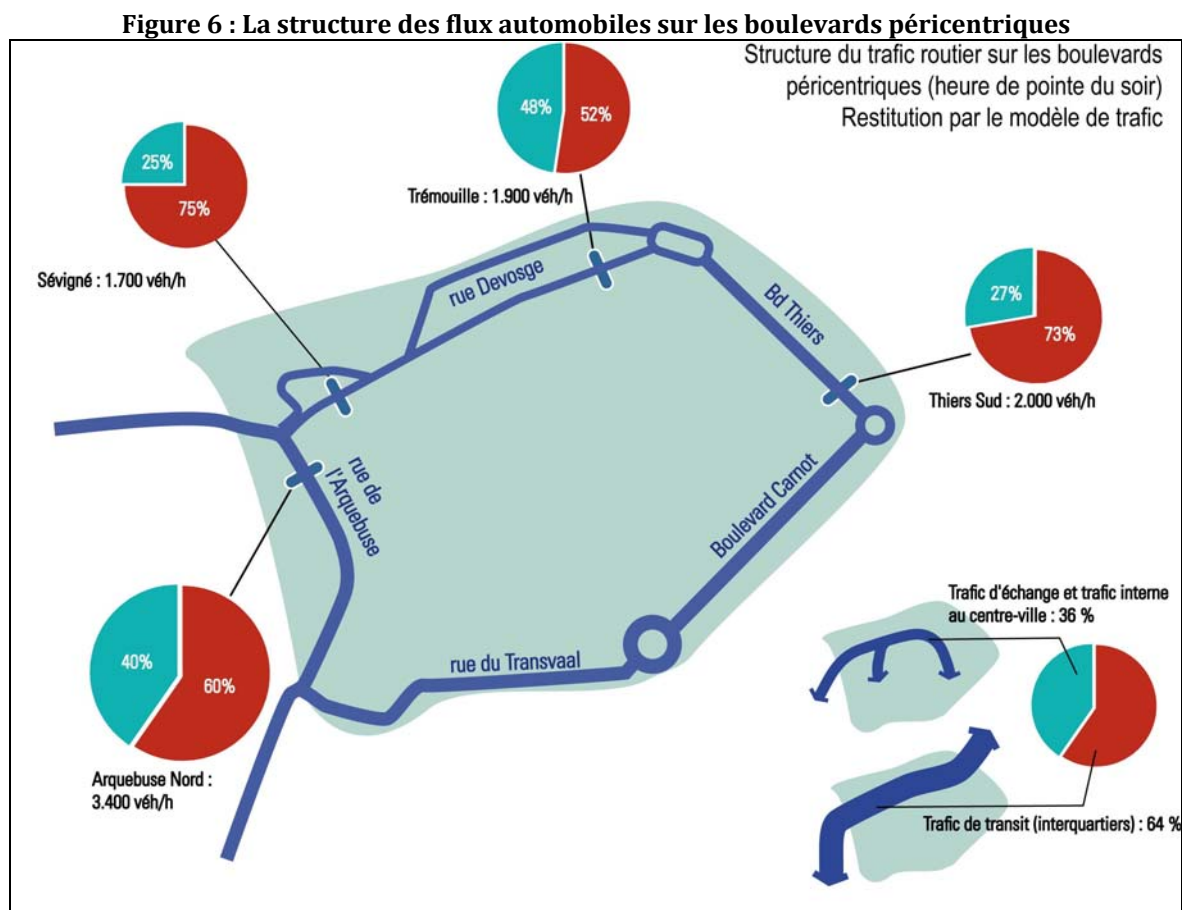


Source : INSEE Bourgogne 2005

1.2.1.2 Des trafics sur les boulevards péricentriques qui profitent peu au centre ville

L'infrastructure routière de Dijon est un héritage des années 70 où l'espace est dédié à la voiture individuelle. L'anneau des boulevards péricentriques a été optimisé pour l'usage de la voiture individuelle (au nord de l'hyper-centre, sur l'axe Devosges/Tremouille, 2*2 ou 3 voies, la capacité est de 4 000 véhicules par heure), même si on trouve quelques couloirs bus. Le trafic absorbé est proche de celui d'une autoroute urbaine. L'augmentation du trafic routier montre les limites du système de circulation actuel : ces axes sont tellement attractifs pour le trafic que l'optimisation de leur débit ne suffit pas à éviter la congestion.

De plus, les flux écoulés ne sont pas nécessairement des flux en relation avec le centre-ville. Des analyses effectuées avec le modèle de trafic de l'agglomération dijonnaise (fourni par le CETE) permettent ainsi d'estimer qu'en moyenne, sur une section donnée des boulevards péricentriques en heure de pointe : un tiers des flux sont des flux d'échanges entre le centre-ville et l'extérieur, ou des flux internes au centre-ville élargi, et deux tiers des flux sont des flux qui ne font que passer, sans s'arrêter au centre-ville. Il s'agit de trafic « inter-quartiers », et dans une moindre mesure de trafic intercommunal, qui ne profite donc pas à l'animation urbaine du cœur de l'agglomération.



Source : Groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail-Alfred Peter, étude préliminaire.

1.2.1.3 Un réseau de transports collectifs saturé

Le réseau Divia de l'agglomération dijonnaise exploité par Kéolis est hiérarchisé suivant le niveau de service offert (fréquence et amplitude), nous trouvons donc quatre types de ligne : les Lianes, les lignes principales, les lignes circulaires et les lignes de desserte fine. En terme de fréquentation et d'offre kilométrique, le réseau Divia est équivalent à celui de ville de province plus grande telle que Montpellier (370 000 habitants). Cependant, victime de son succès, le réseau de transport urbain est aujourd'hui saturé et ne peut plus répondre à la demande.

La mise ne place de bus articulés et l'augmentation des fréquences n'a pas résolu les problèmes de régularité : en effet, l'espace de circulation des bus et des voitures étant le même, l'augmentation du trafic routier a engendré une baisse de la vitesse commerciale et du respect des horaires de bus.

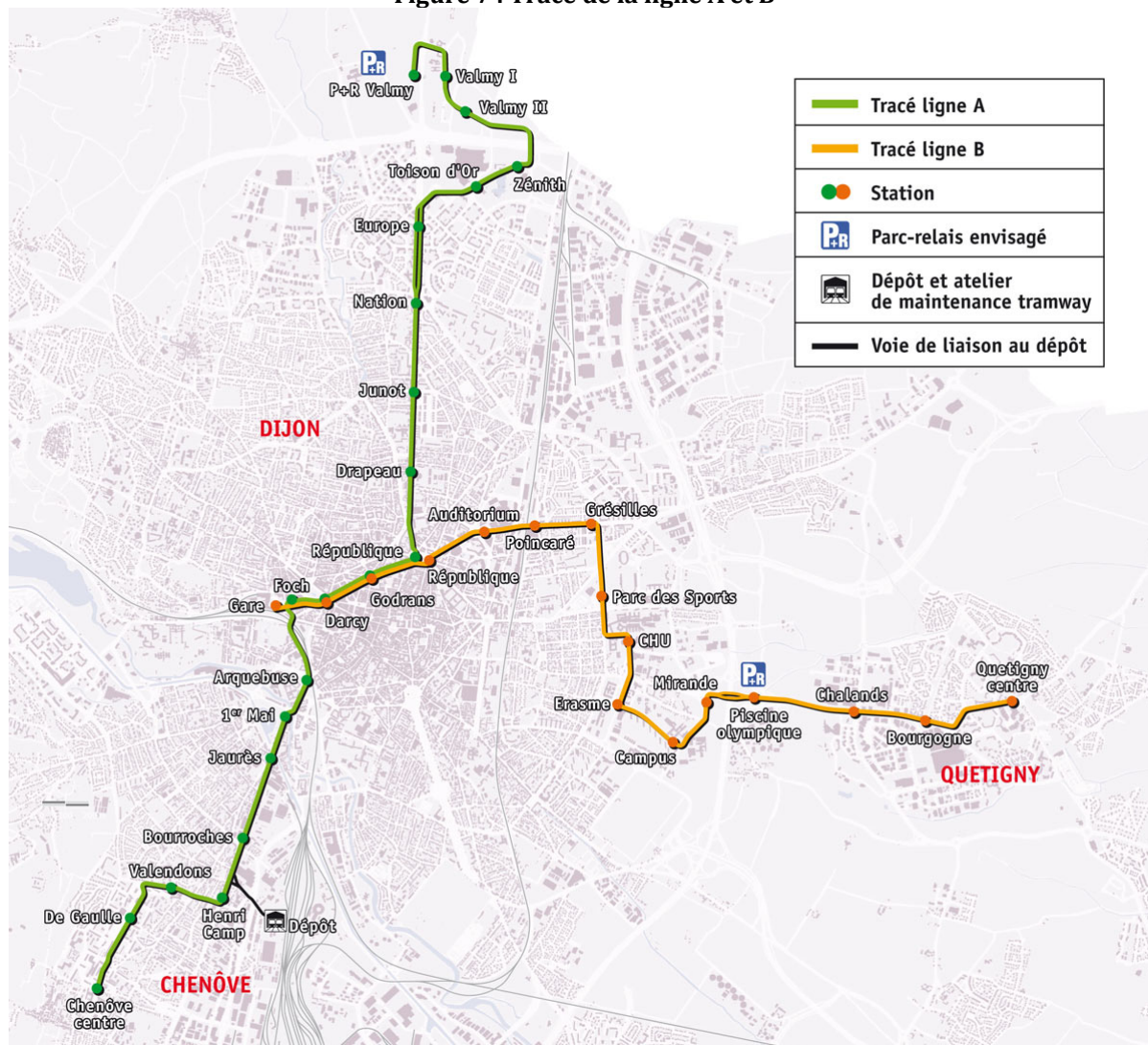
Aujourd'hui, le réseau de transport urbain de Dijon a atteint ses limites de capacité.

Une extension des sites propres et des priorités aux carrefours à feux associées permettrait une première amélioration en termes de vitesse et régularité. Toutefois, au vu des performances du réseau actuel, si le Grand Dijon veut augmenter significativement la part de marché des transports collectifs en offrant une alternative performante à la voiture particulière, il doit franchir un seuil. Ce constat est à l'origine des études et de la concertation qui ont conduit au projet des deux lignes de tramway de l'agglomération dijonnaise.

1.2.2 Le tracé de la ligne A et B

A l'issu des études préliminaires, le tracé des deux lignes de tramway qui a été décidé desservira 3 communes du Grand Dijon : Dijon, Chenôve et Quetigny et comportera 3 branches, c'est-à-dire les trois corridors qui répondent le mieux aux objectifs de développement de l'agglomération :

Figure 7 : Tracé de la ligne A et B



Source : Le Grand Dijon

- branche Sud, avec la desserte de Chenôve qui sera requalifiée.
- branche Nord, avec la desserte des quartiers de la Toison d'Or et de la nouvelle zone d'activité et le futur parc relais de Valmy.
- branche Est, avec la desserte de Quetigny en desservant le CHU, l'Université et le futur parc relais de Mirande.

Ces trois corridors se réunissent au Nord du centre ville, place de la République qui constitue une opportunité de réaménagement importante et qui constituera un nouveau point d'entrée du centre ville.

Ajoutons que le TCSP empruntera quasi-systématiquement des axes routiers importants, puisque d'une part, ce sont sur ces axes que l'on trouve le plus d'espace pour l'insertion d'une plateforme tramway, et d'autre part, parce que le Grand Dijon a fait le choix de « bousculer » l'espace réservé aux automobilistes sur ces axes radiaux pénétrants tout en améliorant la capacité offerte (multiplie par 2 ou 3 le nombre de voyageurs transportés aux portes du centre ville), ce que nous préciserons dans le second chapitre.

Le tracé sera constitué de 34 stations, pour une longueur d'infrastructure de 18,9 km dont 1,1km de tronc commun. Au vu des prévisions de trafic à l'horizon 2013, les fréquences en heure de pointe seront de 5 minutes par sens et par ligne avec des rames de 30 mètres. Le tableau suivant précise les détails techniques des deux lignes.

Tableau 1 : Fiche technique des lignes A et B

	Ligne A Valmy-Chenôve	Ligne B Gare-Quetigny	Total
Longueur commerciale	11,6 Km	8,5 km	20,1 Km
Nombre de stations	20 stations	16 stations	34 stations
Distance moyenne inter stations	610 m	567 m	
Longueur du dépôt à la ligne de TCSP	500 m	2 900 m	
Durée du trajet de terminus à terminus	34 minutes	26 minutes	
Temps de retournement en terminus	5 minutes	5 minutes	
Vitesse commerciale	20,4 Km/h	19,7 Km/h	
Vitesse d'exploitation	17,8 Km/h	16,5 Km/h	
Durée complète du tour	79 minutes	62 minutes	
Parc de véhicules en ligne à l'heure de pointe	16 rames	13 rames	29 rames
Parc de véhicules en réserve et maintenance (15%)			4 rames
Parc total de véhicules			33 rames
Kilomètres commerciaux par an	1 264 000	927 000	2 191 000
Kilomètres haut-le-pied par an	6 000	27 000	32 000
Kilomètres totaux par an	1 270 000	954 000	2 223 000
Kilomètres par rame et par an			67 000

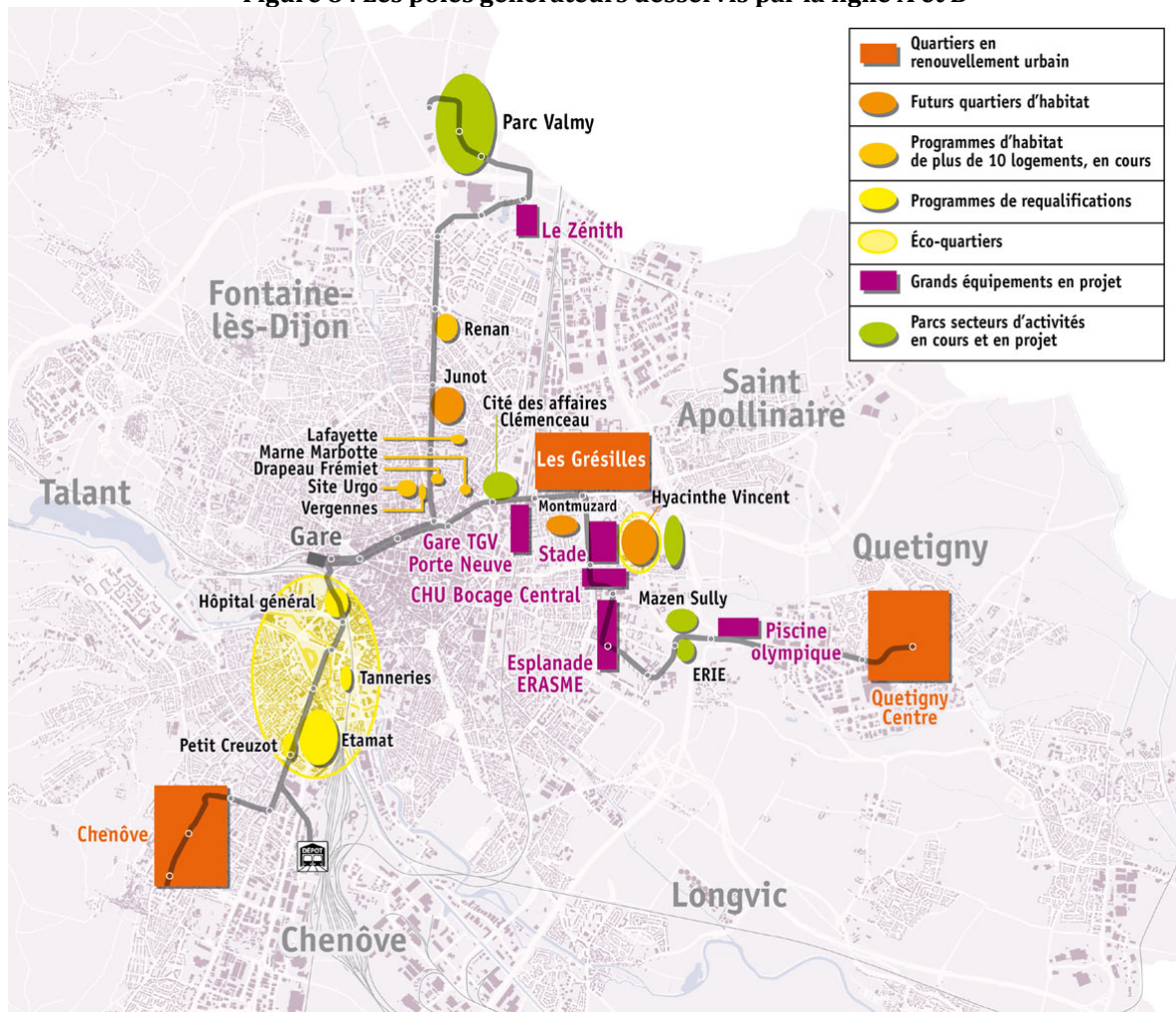
Source : Groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail-Alfred Peter, étude préliminaire.

Le réseau Divia devrait gagner 25% de fréquentation supplémentaire en 2013, et avec 87 000 voyageurs par jour, le tramway transportera 47 % des voyageurs du réseau de transport collectif urbain. Le projet dessert (dans un rayon de 500m autour des stations) :

- un tiers des habitants et des emplois de l'agglomération dijonnaise. (76 000 habitants et 44 000 emplois)
- les deux tiers des étudiants dans leurs établissements, dont le Campus (38 000 étudiants et scolaires).
- trois quartiers en renouvellement urbain sont directement sur le tracé (dont 2 qui figurent parmi les 152 quartiers prioritaires au titre de la politique de la ville).
- la nouvelle entrée du CHU en cours de restructuration.

- les 2 lignes du projet desservent la gare de Dijon-Ville.

Figure 8 : Les pôles générateurs desservis par la ligne A et B



Source : Le Grand Dijon

1.3 Les enjeux de la mise en place d'un TCSP

1.3.1 Problématique

Rapportée à la taille de l'agglomération, l'étendue du tracé est très ambitieuse, d'autant plus que le Grand Dijon a fait le choix de faire passer le TCSP quasi systématiquement par les axes et les nœuds structurants du réseau de voirie. Dans la mesure où ces axes comptent parmi les plus fréquentés du réseau routier de l'agglomération, le projet va ainsi, mécaniquement, reprendre de l'espace à la voiture sur des axes aujourd'hui névralgiques pour le fonctionnement du réseau routier de l'agglomération.

Mais modifier ces comportements dans une ville ne doit pas pour autant signifier une dégradation de la mobilité et de l'accessibilité au centre ville, l'alternative doit donc susciter l'intérêt et ne doit pas se faire brutalement. Dans cette logique, la mise en place de TCSP doit s'accompagner de mesures globales sur l'aménagement urbain, la circulation routière, le stationnement, l'intermodalité qui dépasse largement la mise en place seule du TCSP. Tel est l'enjeu et la difficulté de l'étude qui a été confié au groupement de maîtrise d'œuvre.

La problématique de ce rapport s'énonce donc ainsi :

Quelles mesures, sur la circulation et l'aménagement, doivent être réalisées, à l'échelle de l'agglomération et à celle des carrefours, lors de la mise en place d'un TCSP, pour modifier, en douceur, le comportement des automobilistes ?

Plusieurs interrogations naissent de cette problématique, mais qui se poseront à deux niveaux. D'abord au niveau de l'agglomération pour une macro-étude, qui permettra d'envisager la stratégie du projet. C'est-à-dire connaître et comprendre quelle peut être la stratégie globale d'organisation des déplacements à l'échelle de l'agglomération. Quels sont les moyens mis en œuvre par les différents acteurs pour réussir la mise en place de cette stratégie ? Quels sont les outils pour l'appliquer, la maîtriser et la faire évoluer au fil du temps ?

Ensuite, à un second niveau, celui du carrefour, qui nous permettra d'analyser les aspects plus opérationnels de la mission par une micro-étude. C'est-à-dire comprendre comment la priorité du tramway est assurée ? Quels sont les principes d'aménagement à respecter pour les « carrefours tramways » ? Que deviennent alors les autres modes que sont la voiture particulière, le bus et les modes doux dans cette nouvelle organisation de l'espace ?

Cela nous amène à suivre une méthodologie particulière afin de répondre à toutes ces questions et mener à bien les missions pour lesquelles EGIS Mobilité a été mandatée.

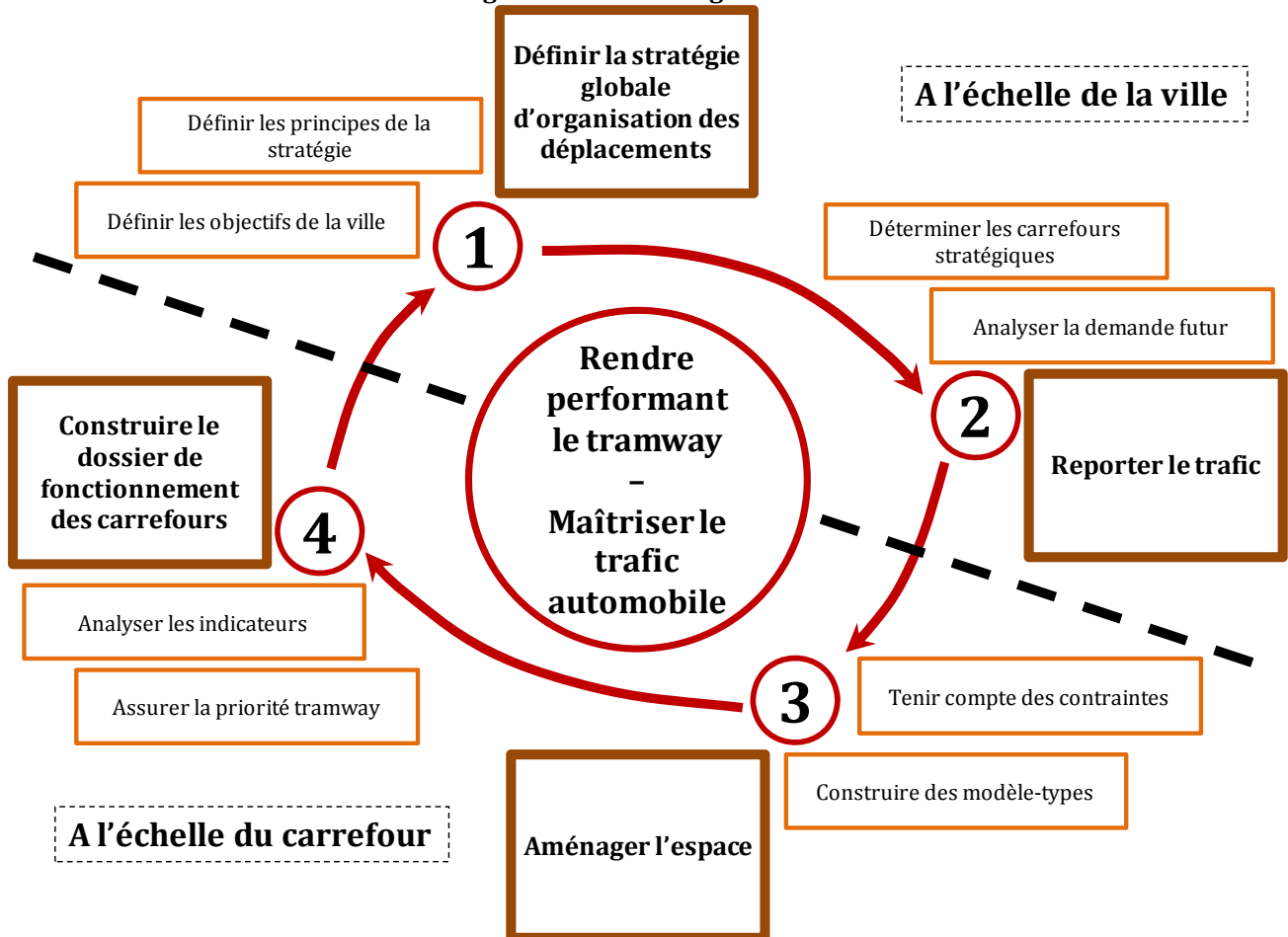
1.3.2 Méthodologie

La méthodologie décrite dans cette partie a pour but, dans un premier temps, de préciser au lecteur le travail qui a été confié à EGIS Mobilité et dans un second temps de l'aiguiller sur le

déroulement théorique qui suivra dans ce rapport, et qui permettra de répondre à la problématique posée.

Nous devons donc bien identifier les missions commandées à EGIS Mobilité, tout en précisant le déroulement des tâches induites à réaliser. Le schéma qui suit décrit les étapes de l'étude et les relations qui existent entre elles.

Figure 9 : Méthodologie suivie



Le cercle central décrit les deux objectifs principaux d'Egis Mobilité qui sont intimement liés : la difficulté est de trouver un équilibre entre les deux, car l'instauration d'un tramway prend de l'espace et du temps aux autres usagers. Les encadrés marrons sont les étapes principales qu'il convient de réaliser l'une après l'autre pour atteindre ces objectifs. Ces étapes ne se réalisent pas au même niveau d'étude. Les deux premières s'effectuent à un niveau plus globale, alors que les deux dernières demandent une analyse plus fine à l'échelle du carrefour ou d'un quartier.

- 1. « Définir la stratégie globale d'organisation des déplacements » : Cette étape sera présentée dans le second chapitre de ce rapport. Cette stratégie est le point d'équilibre de tout le projet qui oriente et structure la suite de l'étude. C'est la description et la traduction technique de la politique de la ville qui dépasse la seule implantation du TCSP.
- 2. « reporter le trafic VP ». Afin d'appliquer les aménagements et les fonctionnements nécessaires par la suite, il est important de mesurer la demande à l'horizon de la mise en service du TCSP. Il faut donc définir les carrefours stratégiques, ainsi que les

mouvements qui seront favorisés ou limités, mesurer le trafic reporté et sa nouvelle répartition

- « Aménager l'espace pour les différents modes ». cette étape ne peut se faire qu'une fois l'étape sur les trafics terminée puisque c'est le trafic qui va déterminer l'espace nécessaire à l'aménagement du carrefour afin de fluidifier la circulation. Cependant, les contraintes sur l'espace sont parfois tellement fortes qu'elles ne permettent pas de contenir le trafic reporté prévu dans certains cas, ce qui oblige parfois à un retour à l'étape précédente. Nous présenterons tout cela dans le dernier chapitre.
- « Construire le dossier de fonctionnement des carrefours ». Ce sont les diagrammes de feux qui permettent de réguler la circulation et donc d'appliquer et de maîtriser in fine la stratégie globale des déplacements dans l'agglomération. C'est l'étape finale qui ne peut être réalisée seulement une fois que la géométrie des carrefours est identifiable, les niveaux de trafic reporté précisés, et les feux implantés.

Ainsi ce rapport est construit à deux niveaux, nous verrons dans un premier temps comment appliquer une stratégie de régulation du trafic routier à l'échelle de la ville pour accompagner au mieux la mise en place d'un TCSP, ce qui passera par les deux premières missions ainsi décrites. Enfin dans un second temps, nous verrons comment, à l'échelle d'un carrefour ou d'un quartier, assurer la priorité tramway et le confort des autres usagers qui circulent dans ce même espace, tout en s'assurant que les résultats sont conformes à la stratégie globale des déplacements.

2. Construction d'une stratégie globale pour l'organisation des déplacements

Avant de présenter la stratégie globale des déplacements, nous décrivons les principaux objectifs de la ville de Dijon et les similitudes qui existent avec les avantages du tramway devenu, à nouveau, un objet désiré par beaucoup de villes européennes.

Ces villes utilisent les effets potentiels du tramway pour accompagner leurs politiques de déplacements qui, d'ailleurs, dépassent largement le domaine des transports. En effet, de nouvelles lois confèrent aux autorités organisatrices de transports des compétences qui permettent d'élargir leur champ d'action vers une politique globale s'orientant vers un développement durable des activités humaines dans la ville.

EGIS Mobilité, de par ses compétences, devra donc s'assurer de mettre en œuvre un service de TCSP performant et fiable, c'est-à-dire une bonne vitesse commerciale et une régularité du tramway, deux de ses caractéristiques majeures. Mais pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de « repenser » la mobilité à une échelle globale, ce qui passe par une hiérarchisation des voies de circulation, le développement de l'intermodalité, et une nouvelle politique de stationnement. Seule la combinaison de ces facteurs donnera toute la mesure de la force d'un TCSP.

2.1. Les objectifs

2.1.1 Une politique globale des déplacements...

De nombreuses actions ont été décidées et seront mises en œuvre à l'échelle de l'agglomération, qui prendront appui sur le Plan de Déplacements Urbains (P.D.U.) de la communauté de l'agglomération dijonnaise, voté le 10 octobre 2000. Elles visent plusieurs objectifs.

Fondant la politique désormais la politique de nombreuses villes françaises, ces objectifs, inscrits dans un développement durable de la ville, sont la traduction politique de lois récentes, telles que la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (1996) et la loi de Solidarité et de renouvellement urbain (2000).

- créer « du lien » en permettant à chacun, quel que soit son lieu d'habitation et ses moyens de transports, d'avoir accès aux ressources de son territoire.
- Impulser l'activité économique, du fait de l'effet multiplicateur d'investissement, par la construction du tramway, la création de nouvelle ZAC et de nouveaux commerces de détail en centre-ville.
- Améliorer le cadre de vie des citoyens en instaurant des espaces verts.
- rééquilibrer la part de chacun des modes, diminuer plus particulièrement celle de l'automobile. Objectif principal pour Egis Mobilité.

La politique de déplacement de la ville dépasse largement le domaine des transports et aura des répercussions dans plusieurs sphères imbriquées les unes dans les autres (théorie des trois sphères de René Passet) : d'abord dans l'environnement économique général, car les transports servent essentiellement au fonctionnement de l'économie, puis dans l'environnement social, l'économie étant une activité sociale parmi d'autres ; et enfin dans l'environnement naturel qui sert de base pour l'ensemble des activités humaines. Au vu de ces objectifs, nous entrevoyons les raisons qui font que le tramway accompagne aujourd'hui les nouvelles politiques des villes.

2.1.2 ...permise par la mise en place d'un TCSP

« Le tramway est un chemin de fer à rail plat, au niveau du sol, dont les roues s'insèrent dans un rail à gorge intégré dans la chaussée. Cette innovation technique permet au tramway de circuler sur la voirie urbaine au milieu des autres circulations, en même temps que sur une voie ferrée classique, sur ballast ». En s'en tenant à cette description technique, et en partant des conditions réelles d'exploitation, on peut retenir sept types d'avantages au tramway moderne selon René Passet, qui expliquent les raisons de son renouveau en Europe occidentale et en particulier en France, depuis les années 1980.

La forte capacité de transport : La capacité d'un tramway moderne est deux à trois fois supérieure à celle d'un bus articulé. Ce qui, dans le cas Dijon, avec une saturation des transports collectifs sur certains axes, est une bonne alternative car multiplier le nombre de bus sur ces axes aurait pour effet de créer des trains-bus, c'est-à-dire des bus qui arrivent tous en même temps à cause des feux et des temps de montée-descente aux arrêts.

La régularité liée au site propre : le site propre du tramway entièrement séparé de la circulation automobile lui garantit une régularité équivalente à celle d'un métro ou d'un train. Les horaires de passage peuvent donc être affichés de façon fiable électroniquement à la station.

La rapidité en voirie urbaine : la vitesse commerciale d'un tramway peut être supérieur à 20km/h, vitesse relativement importante pour un site urbain dense et qui est comparable à celle de la voiture particulière dans cet environnement. Cette vitesse dépend du nombre de stations, de la vitesse maximale autorisée selon les tronçons, mais surtout de la fiabilité de la gestion des feux aux croisements.

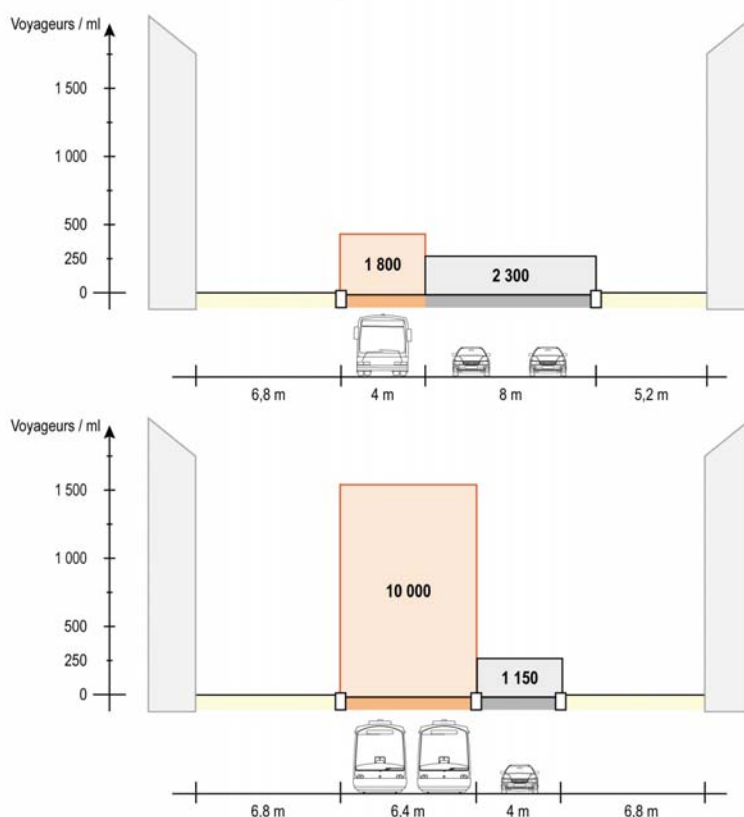
L'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite (PMR) : Elle est totale pour les PMR, car la plupart des tramways modernes sont à plancher bas avec accessibilité de plain-pied, sans marche à partir du quai, qui monte en pente douce. Les nouveaux véhicules livrés sont à plancher bas intégral résultant d'une modification technique, transférant une partie des équipements du plancher aux parties supérieures du véhicule. Cette innovation est utile non seulement aux personnes handicapées, mais aussi aux familles avec poussettes d'enfants, aux personnes âgées ou accidentées ou portant des colis encombrants. Le tramway augmente donc le potentiel d'utilisateurs, crée de nouveaux usages, et joue un rôle social important.

Le faible encombrement de la chaussée : six mètres de largeur suffisent pour faire passer une double voie de tramway, car celui-ci a l'avantage d'être guidé par le rail. Les stations

demandent encore deux mètres de largeur environ. Par comparaison, le débit actuel d'une autoroute 2 fois trois voies est à peu près équivalent à celui des tramways modernes : 7500 voyageurs par heure et par sens. Mais le tramway demande 6 à 10 mètres d'emprise au sol pour son profil en travers, alors que l'autoroute, compte tenu des voies d'accès et des séparations qu'elle impose en demande 100. Et une route, pour à peu près le même débit, demande au minimum 21 mètres sur la chaussée ($3,5\text{m} \times 3 \times 2$), hors accès aux carrefours. On comprend alors l'intérêt de la solution tramway dans les centres urbains et les zones agglomérées denses, où l'espace est rare et cher. Le schéma qui suit présente la transformation de l'un des boulevards péricentriques après instauration du TCSP et ses répercussions sur la capacité.

Figure 10 : Capacité offerte sur le Boulevard de la Trémouille (Dijon) dans la situation actuelle (en haut) et dans la situation projetée avec TCSP (en bas).

Boulevard de la Trémouille : Capacité à l'heure de pointe de chaque mode de transport par ml de chaussée dédié



Source : Groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail-Alfred Peter, études préliminaires.

La faible pollution atmosphérique et sonore : Le tramway, comme véhicule électrique, ne rejette rien directement dans l'atmosphère. Par ailleurs, le tramway moderne est conçu pour être relativement silencieux (moins de 65 dBA). Il est moins bruyant qu'un bus, du fait des améliorations dans la conception des voies (amortisseurs) et dans le fonctionnement du véhicule.

La faible consommation énergétique : la comparaison entre les modes doit se faire en fonction des voyageurs x Km, selon les taux de remplissage effectif des véhicules à l'heure de pointe. Ce ratio montre que le tramway et le bus sont dix fois plus économes en énergie que l'automobile individuelle. Le tramway est plus économe que le bus, s'il est suffisamment occupé. De plus, il

fonctionne avec une source d'énergie (l'électricité) dont la production peut être organisée de façon renouvelable à l'échelle nationale ou européenne.

Au vu des caractéristiques techniques du tramway, la mise en place d'un site propre paraît être une solution pertinente compte tenu des problèmes de congestion que connaît Dijon et un atout essentiel pour joindre et appliquer les objectifs de développement durable. On comprend donc la force du tramway pour les politiques de déplacement des villes.

2.2 Les principes de la stratégie

Ces principes sont présentés dans les études préliminaires du groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail et Alfred Peter. Nous les présentons ici, d'une part, parce qu'elles sont essentielles pour la réussite du projet et pour l'atteinte des objectifs fixés par le plan de déplacement urbain. Et d'autre part, parce qu'il est important de tenir compte de tous les facteurs qui peuvent induire une évolution des trafics, pour pouvoir mesurer la demande à l'horizon de la mise en service du tramway et pour déterminer les carrefours stratégiques.

Les principes, à l'échelle de la ville, qui accompagnent la mise en place du TCSP sont :

- Hiérarchiser la voirie : suivant le type de déplacement des automobilistes (trajets intercommunales, inter-quartiers) les inciter à prendre telles voies plutôt qu'une autre. C'est-à-dire qu'au delà des modifications d'itinéraires par signalisation directionnelle (nouveau plan de jalonnement), la ville doit limiter physiquement (aménagement et plan de feux) le trafic sur certains axes, et favoriser de la même façon d'autres voies. Le Grand Dijon doit donc décider pour chacun des principaux boulevards leur fonction de desserte.
- Développer l'intermodalité : dans un souci de cohérence et de clarté pour les automobilistes, il est important d'assurer la complémentarité des modes car aucun ne peut à lui seul répondre en totalité aux besoins de mobilité. Donc faire en sorte que les relations voiture/Transports collectifs (TC), TC/TC, ou TC/modes doux soit le plus simple (proximité, facilité d'accès...) et le plus sécuritaire possible.
- Limiter le stationnement en centre ville : il est important que la ville réduise ou stoppe toute concurrence directe avec le TCSP en évitant une offre de stationnement attractive pour les déplacements pendulaires (domicile-travail). Elle peut donc grâce à sa réglementation et aux règlements des documents d'urbanisme jouer sur les tarifs, le nombre de place offerte, et la limitation de durée.
- Assurer la priorité au tramway et maîtriser le trafic automobile : favoriser le report modal de la voiture au tramway est un objectif difficile au vu du confort auquel les automobilistes sont attachés. La ville doit s'assurer de la bonne vitesse commerciale et de la régularité de ce dernier. Mais appliquer ce principe ne va pas sans poser de problème sur la circulation, car l'impact du tramway sur l'espace et le temps n'est pas négligeable vis-à-vis des autres usagers. Nous présentons dans le dernier chapitre les mesures qui permettront de mettre en œuvre cette priorité.

2.2.1 Hiérarchiser la voirie

Le réseau routier structurant de l'agglomération dijonnaise s'organise aujourd'hui selon un modèle radioconcentrique, avec trois anneaux de circulation :

- la ceinture des boulevards péricentriques, qui délimite le centre-ville, avec des charges de trafic journalières de l'ordre de 25.000 à 40.000 véhicules par jour (deux sens confondus).
- la ceinture des boulevards périphériques, qui dessert des quartiers résidentiels, de grands ensembles et de grands équipements (CHU, Université), et qui accueille des charges de trafic de l'ordre de 20.000 à 30.000 véhicules jours.
- les roclades, qui contournent Chenôve et Dijon par l'Est, avec des volumes de trafic de l'ordre de 35.000 à 55.000 véhicules par jour. Le projet LINO (2x1 voies en section et échanges dénivelés), prolongera en 2012 d'un quart de tour l'anneau des roclades, et offrira une continuité qui fait aujourd'hui défaut entre l'Ouest et le Nord de l'agglomération.

Figure 11 : Charge de trafic VP actuelle sur les axes principaux

Charge de trafic VP actuelle des axes principaux (heure de pointe du soir)



Source : Groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail-Alfred Peter, études préliminaires

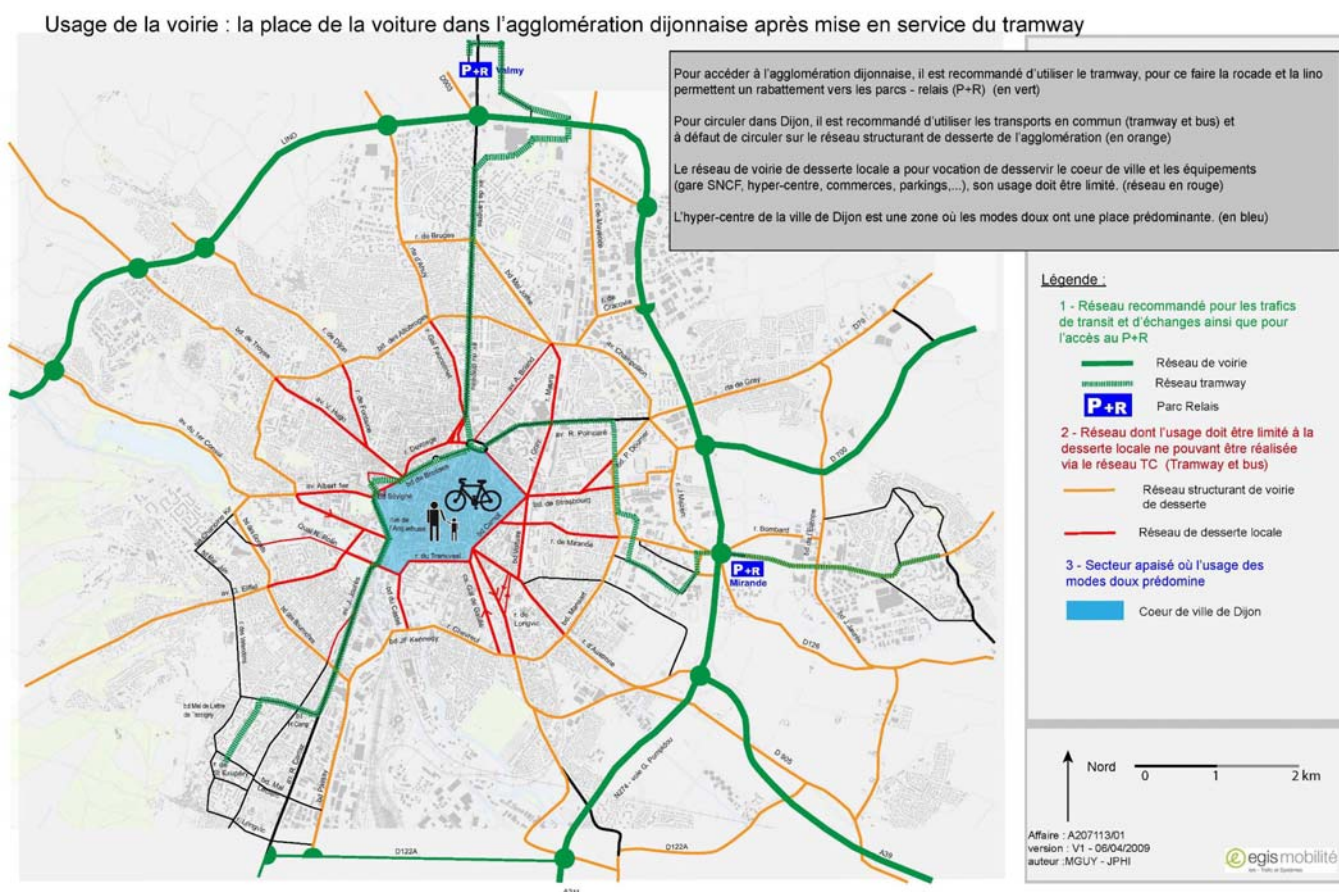
Dans le système routier radioconcentrique de l'agglomération, l'anneau des boulevards péricentriques sera réservé à l'insertion du TCSP ainsi qu'au trafic de desserte du centre-ville. Une partie du trafic l'empruntant aujourd'hui aura donc naturellement tendance à se reporter sur le deuxième anneau, composé des boulevards périphériques. Ces derniers étant d'ores et

déjà très utilisés, il convient de redistribuer une partie des flux les empruntant vers le troisième anneau du dispositif, composé des rocade et de la futur LINO.

Le principe, à terme, est donc une hiérarchisation du réseau de voirie avec :

- la rocade/Lino pour le trafic de transit et une partie du trafic d'échange
- les boulevards périphériques pour relier les différents quartiers et permettre la desserte des communes
- les boulevards péricentriques pour la desserte locale (accès commerces, parkings, gare, équipements,...) en complément de la desserte tramway
- un hyper-centre apaisé où les modes doux prédominent dans les rues.

Figure 12 : Mesure globale, hiérarchisation de la voirie



Source : Groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail-Alfred Peter, études préliminaires

2.2.2 Développer l'intermodalité

Les transports collectifs ne peuvent pas, au regard des coûts pour la société, assurer pleinement toute la chaîne de déplacement. Ils ne peuvent pas substituer complètement aux autres modes de déplacements, et encore moins dans les échanges centre/périphérie (important dans les échanges domicile/travail). Ils doivent donc être complémentaires des autres modes de transports. Les transports collectifs doivent être proche des modes de déplacement individuel si une collectivité veut accompagner en douceur une modification des comportements de ses administrés. Cela passe par le développement de l'intermodalité.

2.2.2.1 Transports collectifs/voitures particulières

La fréquentation des parcs-relais représente généralement des flux de voyageurs assez modestes, au regard de la fréquentation globale d'une ligne TCSP mais le parc relais reste un équipement précieux pour :

- faciliter le changement de comportement modal des automobilistes, qui peuvent y trouver une alternative simple et performante au « tout voiture » pour les trajets vers les zones bien couvertes par les TC ;
- développer une offre de stationnement de substitution au stationnement de surface en centre-ville. Cela peut donc permettre de compenser la suppression de places de stationnement liée à l'insertion du projet TCSP, et plus généralement de développer les espaces dédiés aux modes doux.

L'expérience montre que les principaux facteurs de succès d'un parc relais sont :

- leur situation, si possible en amont des zones de congestion du réseau routier, un temps de trajet en transport public concurrentiel par rapport à celui du trajet en voiture,
- une offre suffisante de places assises dans le TCSP (le P+R doit idéalement être localisé au terminus des lignes).

Le principe est donc de faciliter, aux automobilistes, l'accès aux transports collectifs. Le concept proposé repose sur l'objectif d'implantation d'un parc relais sur chacune des branches du TCSP, afin d'offrir une vision la plus cohérente possible du schéma de circulation multimodal de l'agglomération.

Remarque : Au sud, la localisation d'un P+R est plus complexe, car il est difficile de réunir à la fois les conditions d'une bonne articulation entre le TCSP et le réseau routier, et les disponibilités foncières adéquates. Ce parc relais, même si il a de grande chance de voir le jour après la mise en place du TCSP, ne fera pas partie des études d'aménagement en projet.

Le potentiel de fréquentation des parcs-relais et leur dimensionnement sont cependant étroitement liés à la politique de stationnement en centre-ville que nous présentons succinctement par la suite.

2.2.2.2 Transports collectifs / Transports collectifs

L'objectif est de proposer un schéma de transport collectif cohérent et optimisé sur l'ensemble de l'agglomération car le Grand Dijon veut maintenir le niveau d'offre actuelle. Pour les usagers des transports en commun et la collectivité, les principaux enjeux de la réorganisation du réseau de bus sont :

- diffuser l'effet du TCSP sur toute l'agglomération,
- améliorer des temps de parcours pour les usagers,
- maintenir une desserte fine et attractive,
- prendre en compte le développement du territoire à l'horizon de la mise en service du TCSP

Les principes de base retenus afin de proposer une réorganisation des bus sont les suivants :

Tableau 2 : Les principes de bases pour la réorganisation des bus

	L'utilisation des boulevards péricentriques pour le passage des bus et des LIANES.
	La création de pôles d'échanges en périphérie du centre historique, qui permettent de faciliter les correspondances bus-bus ou bus-TCSP.
	Deux pôles d'échanges connectés au TCSP. Un troisième pôle place Wilson au Sud-Est. Toutes les LIANES sont en correspondance avec le TCSP à la station Gare ou à la station République.
	Les LIANES bouclent les boulevards Sud à la place Wilson. Les bus et LIANES empruntent préférentiellement les boulevards Est et Sud afin de décharger les boulevards Ouest déjà empruntés et desservis par le TCSP en tronc commun.

Source : Groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail-Alfred Peter, études préliminaires

Cette configuration permet de proposer un très haut niveau de service sur l'ensemble des boulevards. Le réseau reste très lisible. Le trafic des transports collectifs est principalement reporté sur les boulevards péricentriques. Chaque Liane, selon le principe adopté est en correspondance avec le TCSP.

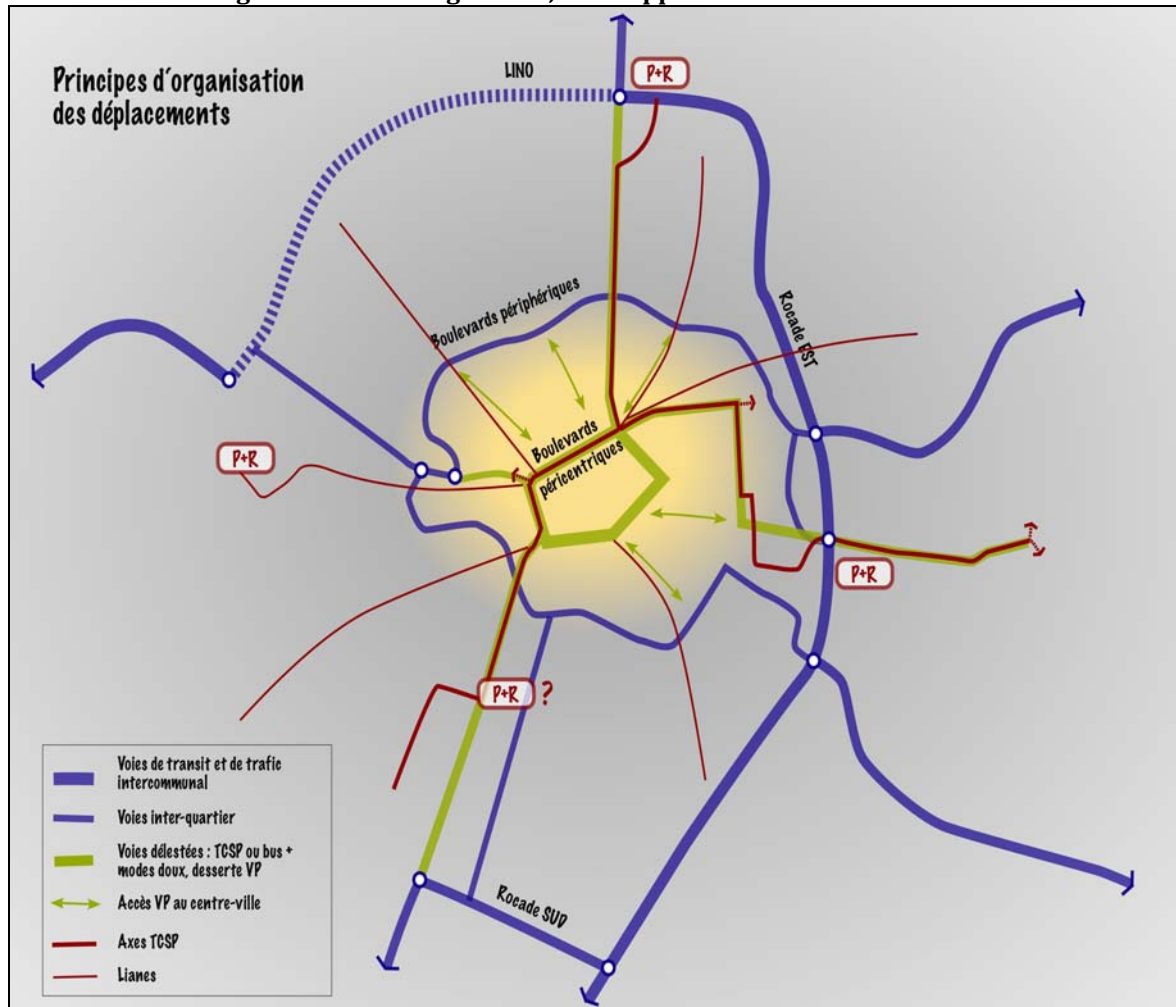
2.2.2.3 Transports collectifs/modes doux

Le TCSP permettra de réaliser 19 km d'itinéraires cyclables (soit 38 kilomètres, si l'on cumule les deux sens).

Le respect de la continuité cyclable tout au long du tracé est un objectif majeur pour Dijon : l'expérience d'autres agglomérations montre que les points de discontinuité cyclable le long d'un tracé TCSP sont toujours conflictuels dans la pratique, si l'aménagement s'interrompt, des conflits d'usages entre piétons et cyclistes, et surtout entre cyclistes et automobilistes, sont à craindre.

Les aménagements cyclables inclus dans le périmètre de projet du TCSP sont envisagés sous la forme de pistes cyclables au niveau du trottoir, avec élargissement de l'espace globalement dédié aux modes doux. Ces pistes sont particulièrement adaptées aux axes structurants, supportant un trafic routier significatif.

Au-delà du périmètre de projet, des aménagements en faveur des modes doux, et en particulier des piétons, sont à prévoir dans un rayon de quelques centaines de mètres autour des stations. Il s'agit de garantir un niveau de confort relativement bon pour les cheminements piétons en rabattement vers le TCSP, en évitant que les flux générés par le projet ne se concentrent sur des trottoirs étriqués, des traversées naturelles non assurées... Cela pourra se traduire par des mesures variées, allant de l'élargissement de trottoir à la piétonisation de certains axes.

Figure 13 : Mesure globales, développement de l'intermodalité

Source : Groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail-Alfred Peter, études préliminaires

2.2.3 Limiter le stationnement

Les études comparatives effectuées dans différentes agglomérations montrent que la disponibilité d'une place de stationnement au lieu de travail est un facteur déterminant du choix du mode de déplacements pour le trajet domicile-travail. Dans les agglomérations françaises comme dans les agglomérations suisses, on prend en effet sa voiture dans plus de 90% des cas, dès lors que l'on dispose d'une place assurée à destination. En revanche, la part de la voiture tombe fortement dès lors qu'il n'y a pas de place de stationnement garantie. Cette part devient d'autant plus faible que le réseau de transports collectifs est performant. Cela démontre que les conditions de stationnement sont déterminantes pour orienter les comportements de déplacements vers les modes alternatifs à la voiture.

Dans le cas de l'agglomération dijonnaise, il est stratégique, pour la cohérence et la réussite du projet TCSP dans son ensemble, en plus des parcs relais et de la restructuration du réseau de bus, d'agir sur la politique de stationnement, particulièrement au centre-ville de Dijon.

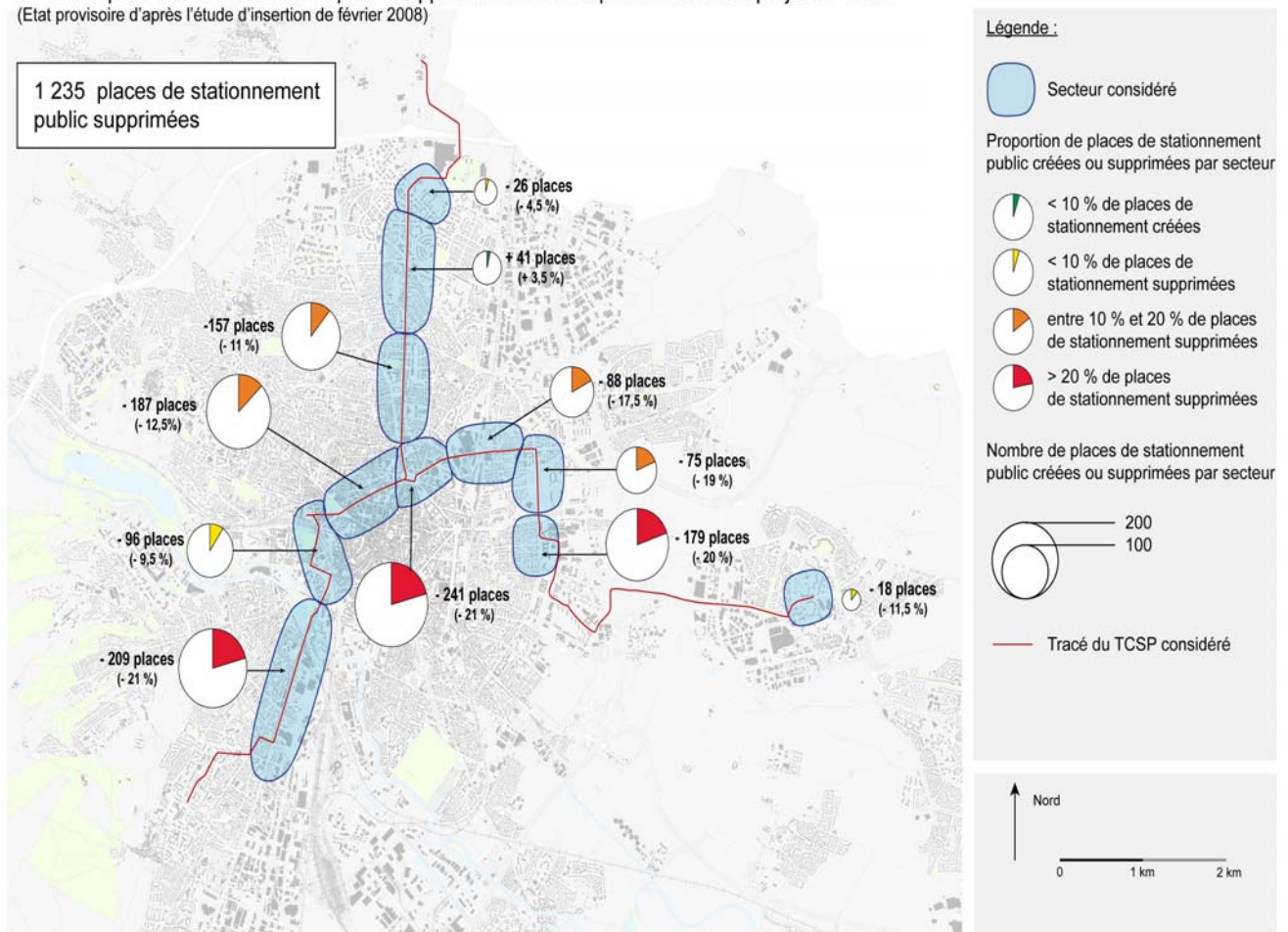
En matière de stationnement, la collectivité dispose d'outils pour intervenir :

- à court terme, sur l'offre de stationnement public, à travers sa réglementation (limitation de la durée, tarification), qui permet d'encourager certains usages (courte durée, stationnement riverain) et en dissuader d'autres (stationnement pendulaire longue durée).
- à moyen et long terme, sur l'offre de stationnement privée à travers les règlements des documents d'urbanisme.

Nous présentons ici seulement l'évolution du niveau d'offre de stationnement public dans le périmètre du TCSP prévu lors des études préliminaires. C'est donc environ 10% des places de stationnement public dans un périmètre de 500m autour du TCSP qui vont disparaître à l'horizon 2015.

Figure 14 : Evolution du nombre de place de stationnement public

Bilan des places de stationnement public supprimées et créées par l'insertion du projet de TCSP
(Etat provisoire d'après l'étude d'insertion de février 2008)



L'objectif principal est de supprimer les places de stationnement gratuites sans limitation de durée. Cet objectif est accompagné d'autres actions incitatives :

- sur les tarifs afin d'encourager le stationnement en ouvrage plutôt qu'en surface,
- sur la limitation de durée, afin d'améliorer la rotation des places.

2.2.4 Assurer la priorité au tramway et maîtriser le trafic automobile

L'impact du tramway sur la capacité d'écoulement des carrefours est important. Les carrefours situés sur une des lignes seront perturbés par un tramway toutes les deux minutes et trente secondes (1 tramway/sens/5 minutes), il y aura donc 24 interruptions par heure liées au passage du tramway. Ces interruptions dureront en moyenne 15 secondes, autrement dit, à termes, entre 10 et 15% du temps (en heure de pointe) sera consacrées au tramway et non à la voiture. Et pour les carrefours situés sur le tronc commun, le nombre d'interruptions étant le double (1 tramway/sens/ligne/5 minutes), 20 à 25% du temps sera consacré au tramway, ce qui engendre d'important report de trafic.

Remarque : il s'agit de l'hypothèse la moins favorable puisque deux tramways pourront passer au même moment.

Nous ne rentrons pas dans les détails car notre dernier chapitre est consacré aux mesures qui permettront de mettre en œuvre cette priorité.

2.3 Les mesures préalables à la mise en œuvre de la stratégie

Les principes de la stratégie, une fois appliqués, auront des répercussions importantes sur le trafic automobile existant au sein de l'agglomération. Il est donc important, avant de passer à la micro-étude et de réaliser les aménagements et les dossiers de fonctionnement nécessaires, de mesurer le trafic actuel et surtout d'anticiper sur l'évolution de ces trafics routiers à l'horizon 2015 afin d'organiser et d'optimiser au mieux les niveaux de charges et les itinéraires des automobilistes. Cela nous permettra ainsi d'éviter des effets secondaires en contradiction avec la stratégie envisagée.

Les études de suivi réalisées dans d'autres agglomérations montrent que la diminution du trafic routier sur les axes empruntés par un TCSP s'accompagne généralement :

- d'une « désinduction » de trafic (c'est-à-dire que les automobilistes renoncent à certains déplacements, en s'organisant différemment) ;
- mais aussi de reports de trafic vers des axes parallèles, plus éloignés du centre-ville et moins contraints.

Il faut donc :

- Déterminer les carrefours verrous : plusieurs carrefours joueront un rôle stratégique de verrou pour limiter les flux entrants vers le centre ville et sur les axes emprunté par les transports collectifs (TCSP et bus) et dans les zones spécifiées où l'espace réservé à l'automobile est restreint (centre-ville et hyper-centre) afin d'encourager le report modal.
- Identifier les flux à reporter et mesurer le trafic à l'horizon de l'étude : il est important de mesurer l'évolution des trafics à l'horizon de la mise en service du TCSP. L'objectif principal étant d'avoir une image la plus fidèle possible des trafics

directionnels et en sections à la mise en service du tramway sur les axes du TCSP et les voies contiguës.

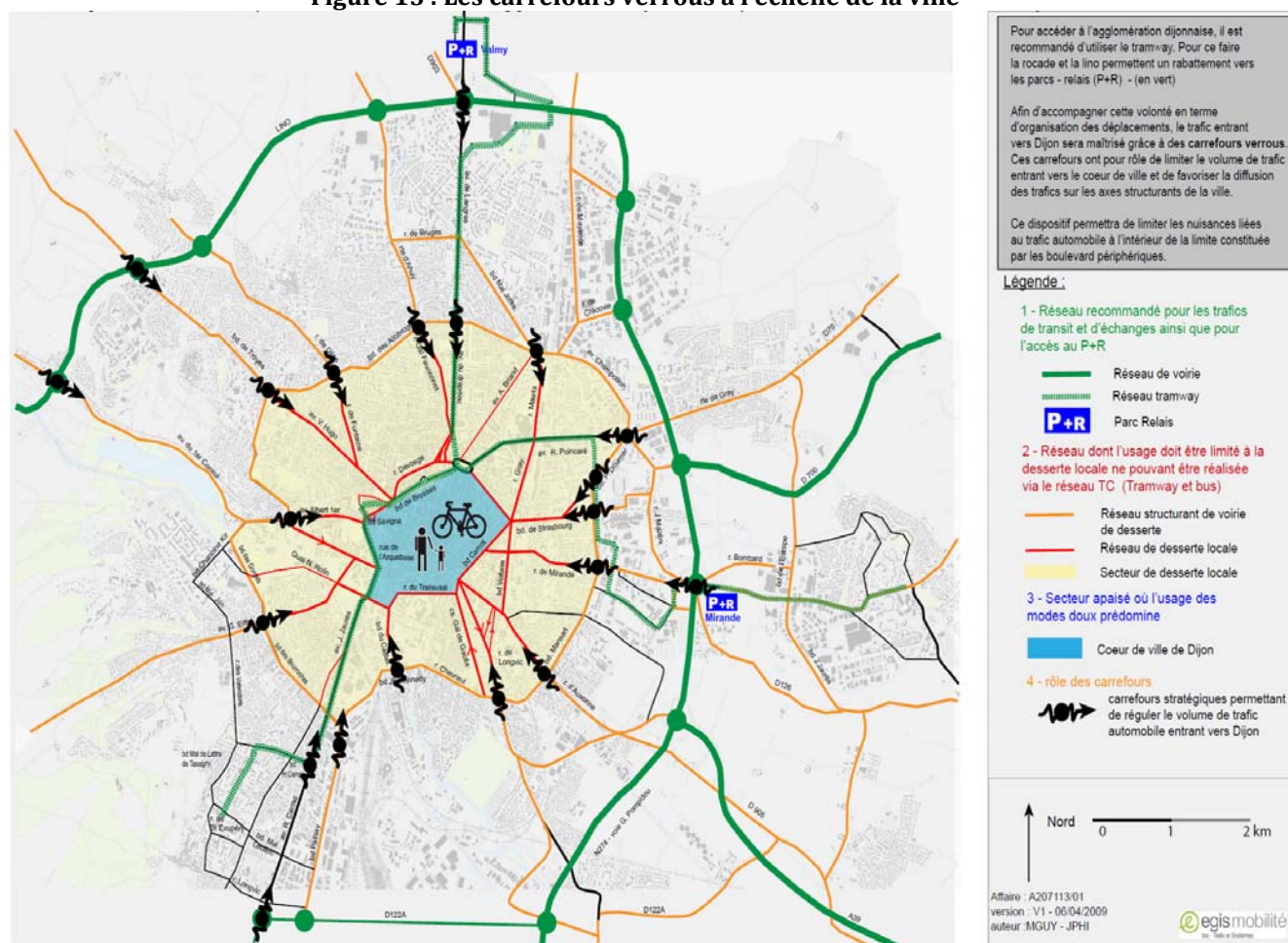
Ces dernières mesures sont essentielles pour pouvoir établir par la suite les aménagements et les fonctionnements appropriés des carrefours.

2.3.1 Identifications des carrefours verrous

Pour mettre en place un schéma d'usage de la voirie, il est nécessaire d'accompagner la hiérarchisation de la voirie par des mesures globale sur la régulation : limiter, en amont, le trafic entrant au centre-ville.

Cette limitation se fera grâce aux carrefours à feux situés sur le boulevard périphérique du centre ville.

Figure 15 : Les carrefours verrous à l'échelle de la ville

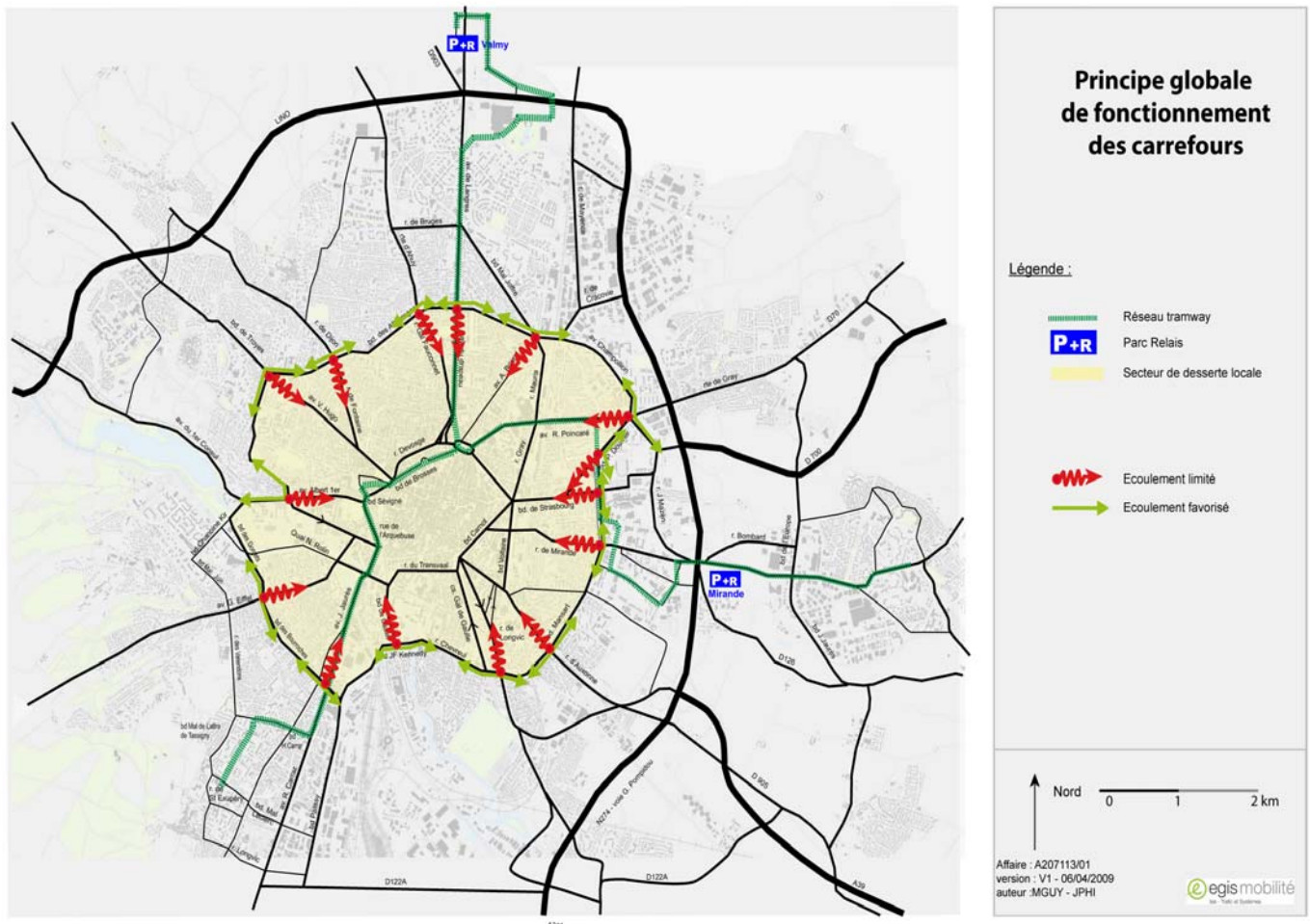


Source : Groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail-Alfred Peter, étude d'avant projet

Leur principe de fonctionnement favorisera le trafic transversal afin de renforcer son rôle de contournement et limitera le trafic entrant au strict besoin de la desserte locale (la méthode de mesure est présentée dans la partie suivante).

Nous présentons sur la figure suivante les mouvements favorisés et limités, permettant ainsi de limiter les flux de transit au centre ville de Dijon.

Figure 16 : Principe globale de fonctionnement des carrefours



Source : Groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail-Alfred Peter, étude d'avant projet

En règle générale, on peut noter que les principes de régulation seront à appliquer pour :

- Les carrefours du secteur centre, le Grand Dijon veut limiter considérablement le trafic entrant, d'autant plus que le système fonctionnera, à la mise en place du TCSP, à capacité maximale. Les carrefours à feux d'entrée dans la zone centre détermineront donc les capacités à écouler en amont.
- De même, les carrefours des axes structurants qui accueilleront le TCSP auront des capacités d'écoulement en cohérence avec celle du centre.
- entre la rocade et les boulevards périphériques, la circulation est favorisée au maximum pour permettre un niveau de desserte satisfaisant des secteurs situés entre la rocade et la ceinture des boulevards périphériques. La capacité d'écoulement sera plus faible qu'aujourd'hui compte tenu de la présence du TCSP.

2.3.2 Mesure des évolutions de trafic

L'étape qui suit est donc possible une fois que les principaux projets d'urbanisation ont été identifiés, et le tracé final du TCSP précisément décrit. Il faut donc désormais :

- Mesurer le trafic actuel : trafics directionnels aux carrefours.
- Prendre en compte les projets d'urbanisation et intégrer les trafics supplémentaires générés.
- Reporter le trafic

2.3.2.1 Mesurer le trafic actuel

EGIS Mobilité n'est pas spécialisée dans le comptage de trafic, elle l'a donc commandé à une société extérieure qui a procédé, en mars 2008, aux comptages directionnels et à des enquêtes par relevé de plaques minéralogiques.

-Enquête de comptages automatiques : permet de connaître à un endroit donné le nombre de véhicules qui passent, leur vitesse ainsi que le type de véhicule : véhicule léger ou poids lourd.

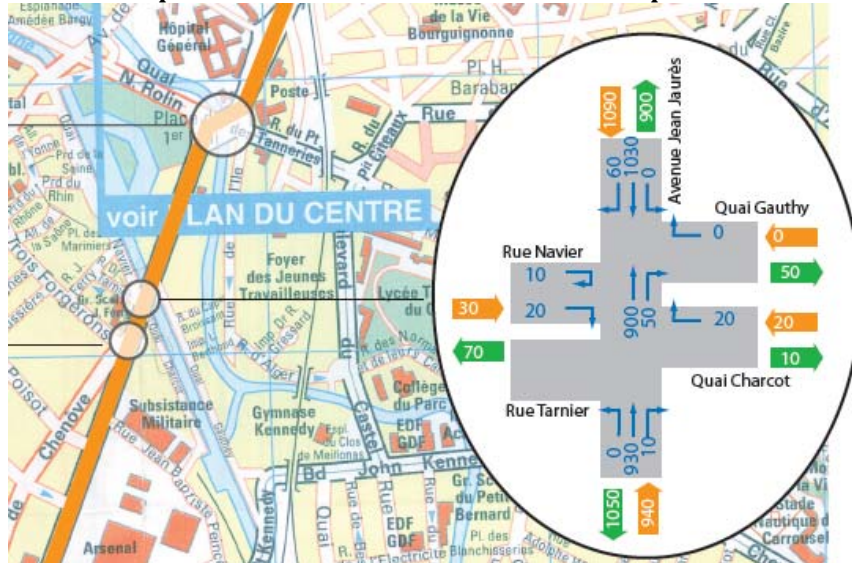
-Enquête de comptages directionnels « standards » pour les carrefours de petite ou moyenne taille (carrefours à feux, de petits carrefours non régulés ou éventuellement de carrefours giratoire n'excédant pas une certaine taille).

-Enquête origines/destinations par relevé de plaques minéralogiques aux entrées / sorties pour les carrefours complexes (carrefours à 4 branches avec 1 à 3 voies par branche d'entrée, giratoires « simples »). On connaît ainsi l'origine et la destination d'une voiture à l'échelle d'une zone prédéfinie.

Pour ce type d'étude il est important de mesurer le trafic qui va dimensionner et déterminer les aménagements et le fonctionnement des carrefours : il est donc nécessaire d'estimer le trafic aux heures de pointe du matin et du soir en semaine, et le samedi après-midi pour certains quartiers. Le comptage dure généralement une heure trente pour chacune des heures de pointe.

Les résultats fournis sont rendus sous forme d'un schéma de principe du carrefour enquêté, d'une matrice des flux piétons/vélos/ véhicules légers (VL) / poids lourds (PL). L'objectif étant de constituer des schémas structurels par carrefour : le volume par mouvement.

Les enquêtes minéralogiques permettent d'anticiper les itinéraires de reports des volumes de trafics qui seront retenus en amont d'une zone.

Figure 17 : Exemple de schéma structurel des carrefours pour les trafics actuels

Source : Egis Mobilité ; comptage Mars 2008

2.3.2.2 Prendre en compte les projets d'urbanisations et intégrer les trafics supplémentaires générés

Les zones d'habitat et d'emploi créées généreront des trafics supplémentaires impactant notamment les axes sur lesquels le TCSP sera implanté. Ces trafics supplémentaires ont donc été mesurés en posant plusieurs hypothèses.

Pour les zones d'habitat, il faut déterminer suivant le nombre d'habitants donnés :

- le nombre de déplacements par jour et par personne
- la part de ces déplacements réalisés en voiture particulière
- le taux d'occupation des véhicules
- la part de ces déplacements réalisés à l'heure de pointe du matin et du soir
- la répartition des flux pour chacune des heures de pointes

Pour les zones d'emploi, il faut déterminer, suivant le nombre d'emplois donnés, les mêmes indicateurs, et tenir compte, en plus, du taux d'absentéisme.

Exemple d'hypothèses pour les zones d'habitats pour l'étude de Dijon :

Trafics générés par les zones d'habitats :

Pour un nombre d'habitants donné, les hypothèses sont les suivantes :

- 3,8 déplacements/jour/personne,
- 60% des déplacements réalisés en véhicule particulier,
- Le taux d'occupation des véhicules est de 1,35 personne/véhicule

En Heure de Pointe du Matin (HPM) :

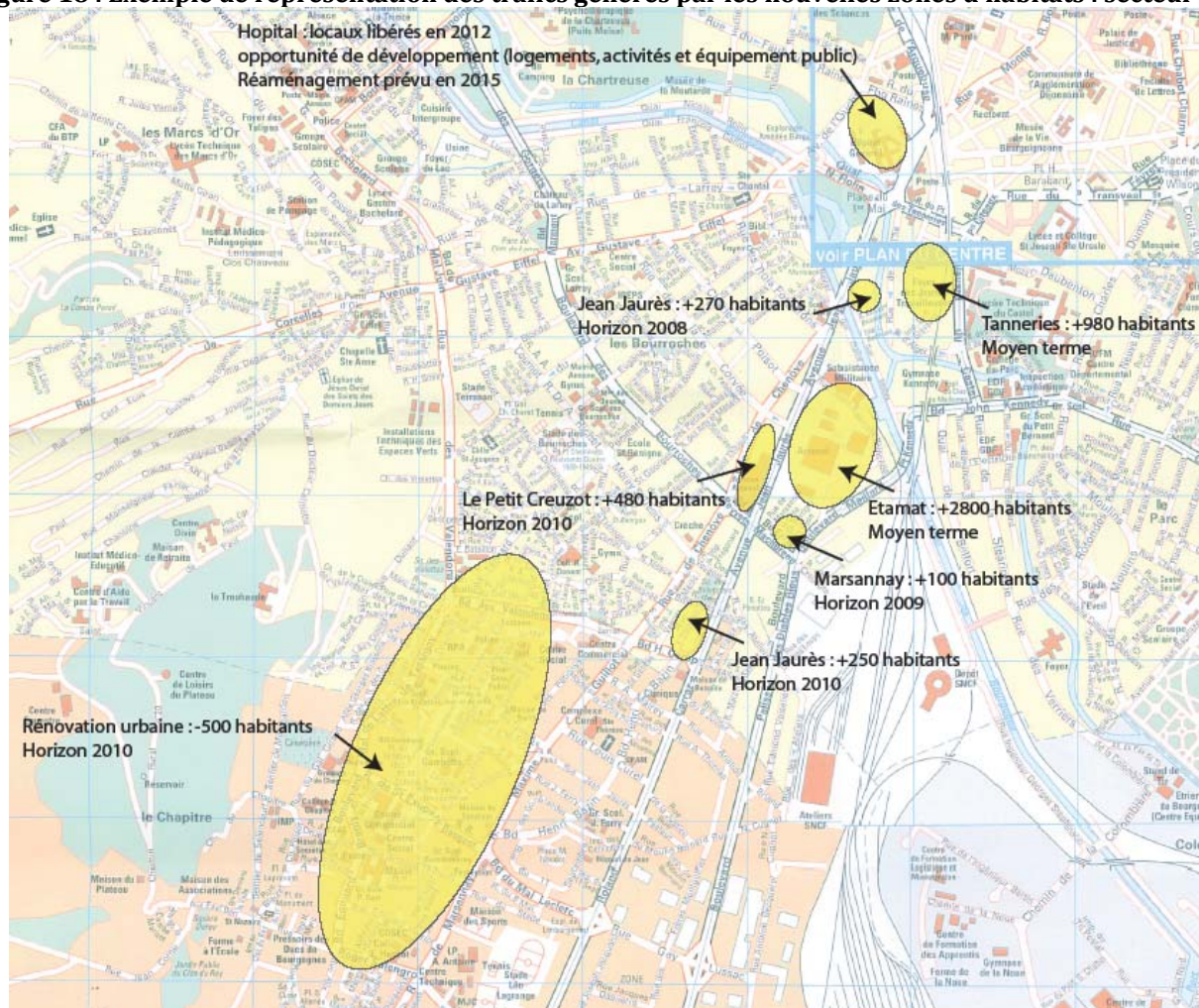
- 10% de ces déplacements sont réalisés en HPM
- La répartition des flux en entrée/sortie de la zone d'habitat est la suivante :
-Sortants : 4/5
-Entrants : 1/5

En Heure de Pointe du Soir (HPS) :

- 15% de ces déplacements sont réalisés en HPS
- La répartition des flux en entrée/sortie de la zone d'habitat est la suivante :
-Sortants : 1/3
-Entrants : 2/3

Les données sont présentées ainsi (exemple des projets d'habitats dans le secteur sud) :

Figure 18 : Exemple de représentation des trafics générés par les nouvelles zones d'habitats : secteur sud



	Nombre d'habitants	HPS			HPM		
		trafic total	trafic entrant	trafic sortant	trafic total	trafic entrant	trafic sortant
Etamat	2800	709	473	236	473	95	378
Le Petit Creuzot	480	122	81	41	81	16	65
Marsannay	100	25	17	8	17	3	14
Tanneries	980	248	166	83	166	33	132
Rénovation Urbaine	-500	-127	-84	-42	-84	-17	-68
Armand-Thibaut	270	68	46	23	46	9	36
Jean Jaurès	250	63	42	21	42	8	34

Ces nouveaux trafics sont donc à ajouter aux trafics existants. Mais calculer le volume de trafic ne suffit pas pour mesurer les niveaux de charges aux sections et intersections, il reste à évaluer la répartition de ces trafics supplémentaires sur les rues adjacentes à ces nouveaux pôles générateurs de déplacements.

On tient alors compte de l'importance du projet : s'il n'est pas important au regard des trafics générés, la répartition se fera alors dans les mêmes proportions que le trafic actuel. S'il génère d'importants flux supplémentaires, il faut clairement identifier sa situation géographique (proche d'un boulevard périphérique, de l'axe du TCSP, etc.) et ainsi poser des hypothèses sur leurs répartitions.

Ces hypothèses sont posées au cas par cas, nous présentons l'exemple de la nouvelle zone d'habitat « Etamat », dans le secteur sud pour l'illustrer :

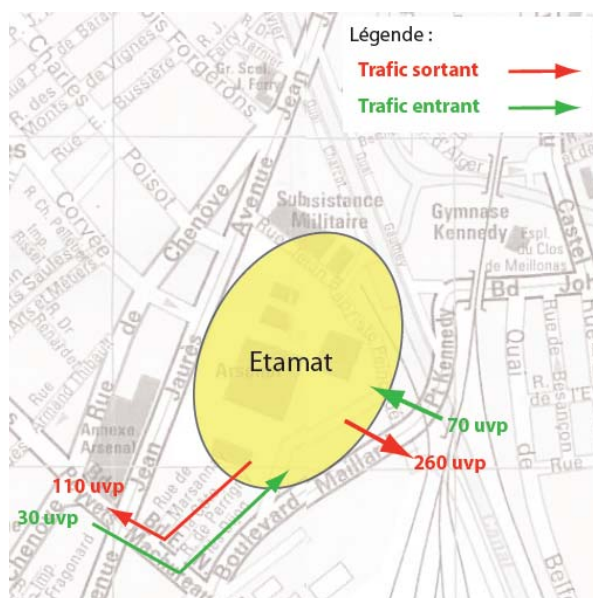
« Le projet n'étant pas encore défini, nous prendrons l'hypothèse selon laquelle les accès à cette future zone seront organisés de manière à limiter les entrées / sorties sur l'avenue Jean Jaurès au profit des accès sur les boulevards Maillard et Machureau.

Concernant l'impact sur l'axe TCSP, nous considérerons que : pour rejoindre le périphérique, les automobilistes utiliseront des axes parallèles à l'avenue Jean Jaurès (ou passe le TCSP) et le trafic supplémentaire n'impactera pas les carrefours de l'axe TCSP.

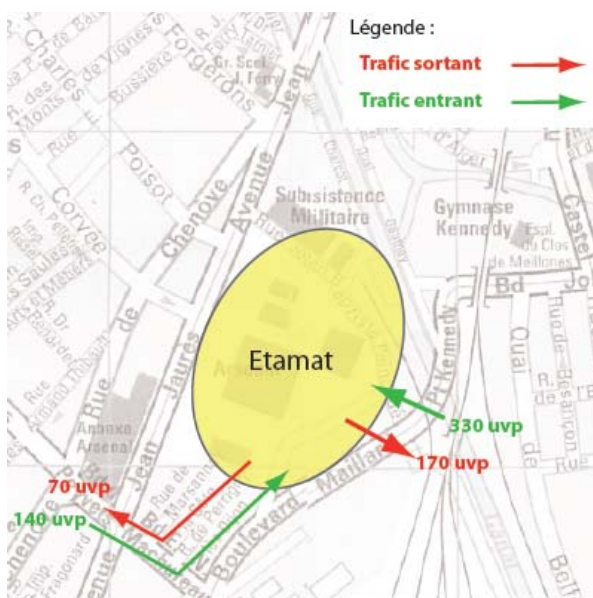
Pour rejoindre l'Ouest et le Nord-Ouest de la commune ou de l'agglomération, les automobilistes seront obligés de traverser le carrefour av. Jean Jaurès / Bd des Peyvets / Bd Machureau, ce qui impactera l'axe TCSP. Ce flux est estimé à environ 30% du trafic lié à ce projet ».

Figure 19 : Exemple de représentation de la répartition des trafics générés par la nouvelle zone d'habitat : « Etamat », secteur sud

Heure de Pointe du Matin (HPM)



Heure de Pointe du Soir (HPS)



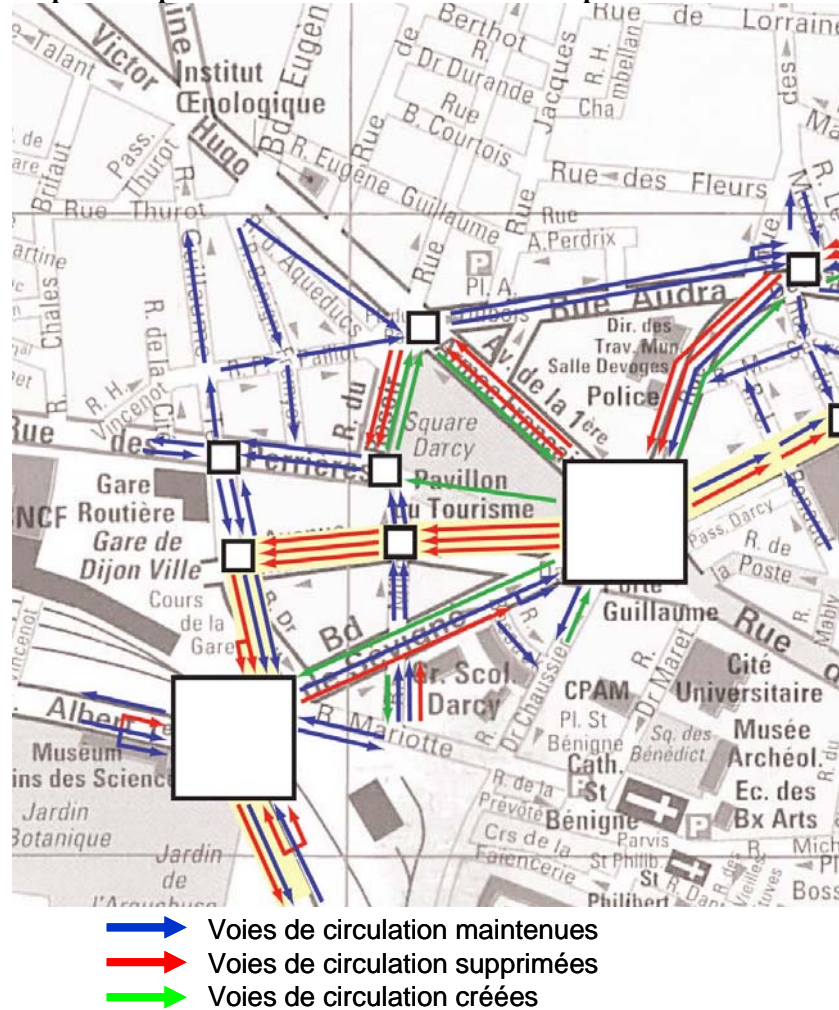
Nous pouvons désormais produire des schémas, directionnels et en section, des trafics « provisoires » à l'horizon de la mise en service pour les confronter aux nouvelles contraintes imposées par le Grand Dijon et par la géométrie de l'existant.

2.3.2.3 Reporter les trafics

Nous devons tenir compte des modifications du plan de circulation dans certains quartiers, car ils modifieront, en toute logique, la répartition du trafic.

Au-delà des axes routiers où le TCSP passera, c'est surtout le centre-ville qui connaît un grand nombre de modifications liées à la volonté du Grand Dijon de créer une zone privilégiée aux modes doux.

Figure 20 : Exemple de représentation des modifications du plan de circulation : secteur centre



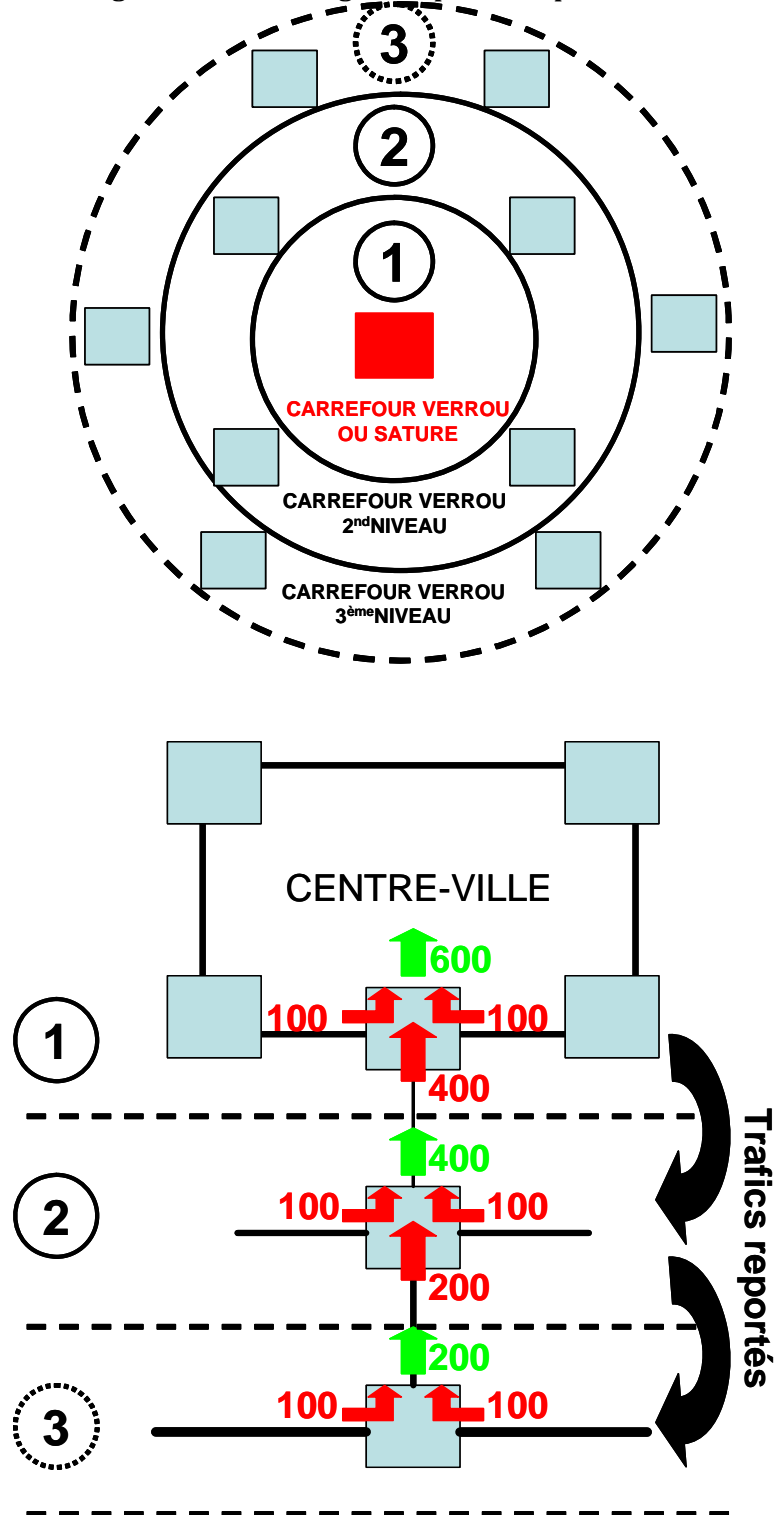
En confrontant les volumes de trafics aux contraintes de temps (impact TCSP) et d'espace (aménagements existants) des carrefours, on peut déterminer leur niveau de saturation et les volumes de report qu'ils engendreront aux différentes heures de pointe.

Pour cela nous utilisons les logiciels tels que REGULA et VISSIM :

- Le logiciel de simulation de trafic VISSIM permet d'évaluer le trafic qui pourra réellement être géré dans l'intersection sans gêner la priorité tramway. Il est utilisé pour les carrefours complexes qui ont, soit un rôle important dans la stratégie de régulation, soit une géométrie particulière, soit une gestion spécifique par capteurs, ou en coordination avec d'autres carrefours. C'est donc une évaluation dynamique qui permet de mesurer la capacité maximale de ces carrefours.
- Le logiciel REGULA est utilisé pour les mesures de capacité. Il intervient à deux niveaux dans l'étude. Une première fois à la phase d'avant projet, pour rechercher des principes d'aménagements cohérents au niveau des carrefours (nombre de voies, débit, réserve de capacité ...) : on intègre donc les trafics et la stratégie globale d'organisation des déplacements (priorité bus, mouvement à favoriser, à limiter...). Et une seconde fois pour réaliser des dossiers de fonctionnement, ce que nous présenterons dans le dernier chapitre.

Seuls les volumes de trafic pouvant être gérés le long de l'itinéraire du TCSP pourront être admis dans son périmètre, on évite ainsi de saturer les carrefours. Pour cela, nous présentons la méthode globale qui permet de reporter le trafic.

Figure 21 : Méthode globale pour le report de trafic

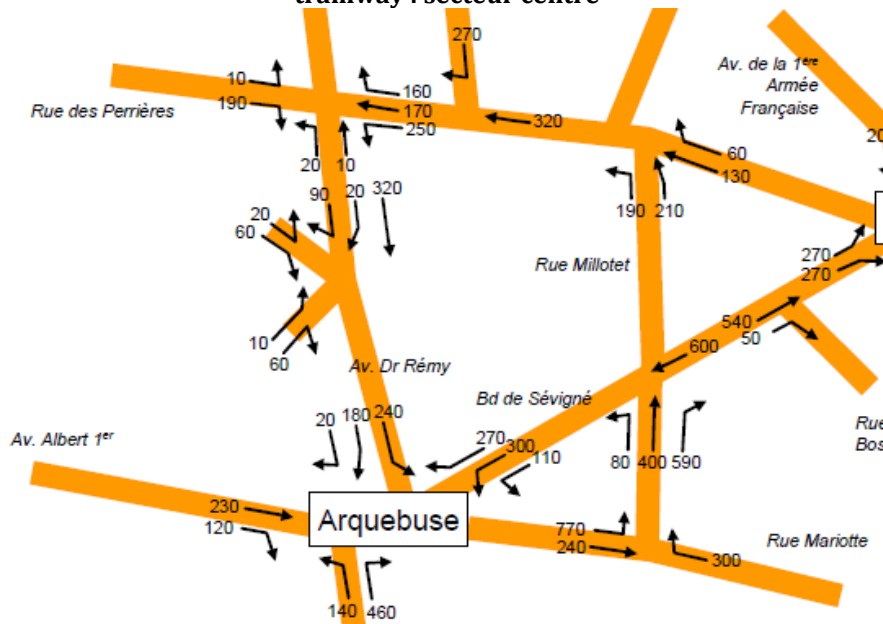


Ainsi, après avoir ciblé un carrefour saturé ou verrou (limitant le flux entrant), nous déterminons le trafic entrant « soutenable » ou « souhaitable » (étape 1). Le trafic non désiré se reportera automatiquement en amont vers d'autres carrefours (étape 2). Les automobilistes concernés chercheront à se reporter sur des axes de circulation moins saturés en amont (report en cascade). Il est donc possible de mesurer le trafic rejeté qui se reporte sur les carrefours de niveau supérieur.

Cette méthode est appliquée ainsi jusqu'à remonter sur un axe circulaire structurant capable d'absorber le trafic (étape 3).

Après avoir mesuré le trafic actuel, pris en compte les projets d'urbanisation, ciblé les carrefours saturés ou verrous, évalué le volume de trafics qui se reportera en cascade, nous pouvons désormais reconstituer le trafic à l'horizon 2015 pour les tronçons et les carrefours dans le périmètre du TCSP. Ces données seront indispensables par la suite pour construire les dossiers de fonctionnement des carrefours (plan de feux), et ainsi appliquer à l'échelle du carrefour ce qui vient d'être déterminé à l'échelle de la ville.

Figure 22 : Exemple de représentation des trafics directionnels à l'horizon de la mise en service du tramway : secteur centre



Remarque : le report modal qui aura lieu de la voiture au tramway (et aux transports en commun) n'est pas pris en compte, il s'agit de l'hypothèse la plus défavorable.

SYNTHESE PARTIE 2

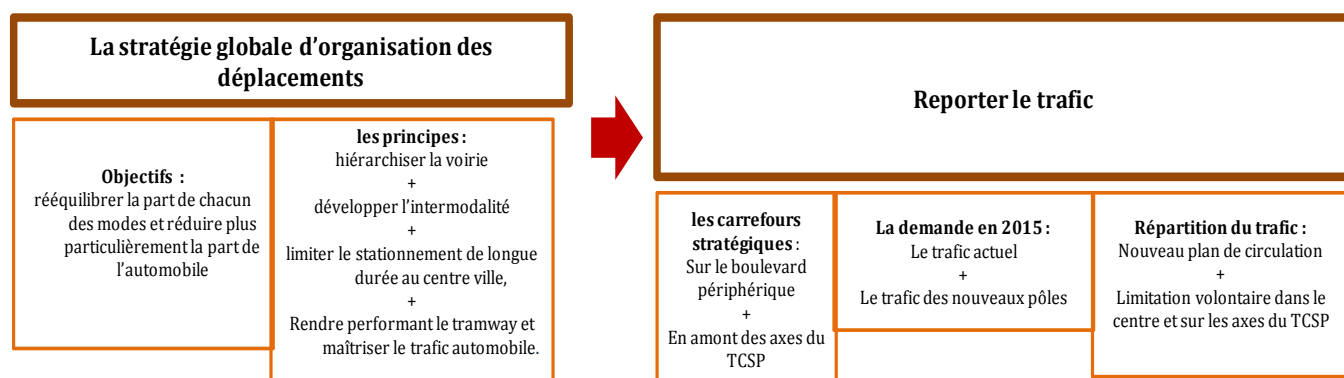
L'objectif principal pour Egis Mobilité est de rééquilibrer la part de chacun des modes, et diminuer plus particulièrement celle de l'automobile.

Pour les atteindre, il faudra combiner plusieurs mesures qui sont :

- hiérarchiser la voirie,
- développer l'intermodalité,
- limiter le stationnement de longue durée au centre ville,
- assurer une bonne vitesse commerciale et la régularité du tramway, et maîtriser le trafic automobile.

Egis Mobilité doit donc prendre en considération toutes ces mesures pour donner les moyens, à la ville, de maîtriser et de faire évoluer au fil du temps les volumes de trafics. Pour cela, elle a construit une stratégie globale d'organisation des déplacements qui repose sur des carrefours verrous. Ces carrefours ont pour rôle de limiter le trafic entrant dans Dijon, et de favoriser les trafics de transit vers les axes structurants. Elle a dû aussi vérifier que le projet ne génère pas de reports de trafics inacceptables dans l'environnement large du projet, notamment au centre-ville de Dijon et le cas échéant, a pris les mesures nécessaires pour anticiper, canaliser et maîtriser ces reports. Egis mobilité a donc, à ce stade de l'étude, la photographie précise (trafics en section et directionnels) des volumes de trafics à l'horizon 2015, les principes d'aménagement cohérent des carrefours (nombre de voies, débit, réserve de capacité...) qui lui permettent de construire les dossiers de fonctionnement des carrefours, outil essentiel pour mettre en œuvre la stratégie.

A L'ECHELLE DE LA VILLE



3. Etude technique pour l'aménagement et la régulation des carrefours

Egis Mobilité a donc entre ses mains les volumes de trafic en sections et directionnels à l'horizon de la mise en service des deux lignes de tramway. Elle peut désormais construire les dossiers de fonctionnement des carrefours, c'est-à-dire, au niveau de chaque carrefour, construire le phasage, définir l'aménagement et le matériel nécessaire afin d'assurer la priorité maximale du tramway, d'écouler le trafic automobile admis préalablement, et de garantir le confort des autres usagers.

La difficulté de cette étape réside dans le fait que l'aménagement et le fonctionnement doivent être pensés en même temps, le phasage du carrefour et sa géométrie doivent être cohérents, c'est-à-dire qu'ils forment un ensemble où l'un ne peut s'étudier indépendamment de l'autre.

Tout au long de ce travail, il faut avoir en tête les principes généraux de conception et d'exploitation des carrefours à feux, explicités dans la sixième partie du livre I de la signalisation routière : en règle générale, la mise en place de feux sur une intersection n'est pas obligatoire, donc leur présence, si elle est justifiée par notre stratégie globale (réguler les flux), devra l'être aussi pour l'utilisateur. Pour limiter la taille des zones de conflit, il faut chercher, dans l'absolu, à rendre compact le carrefour. Enfin, la signalisation doit être la plus claire possible, le découpage en phase doit donc être le plus simple possible.

Tous ces principes participent à la lisibilité générale du carrefour de la part des usagers afin qu'ils puissent comprendre et surtout respecter le fonctionnement des carrefours à feux.

Ce fonctionnement à d'ailleurs trois objectifs principaux :

- Assurer la sécurité des différents usagers et notamment des piétons,
- Mettre en œuvre la priorité maximale aux tramways,
- Optimiser la capacité des carrefours en déformant au minimum les solutions de régulation prévues des autres usagers.

Nous présentons dans un premier temps les principes concrets d'aménagements qui ont été définis en avant projet. Nous expliquons ensuite les principes généraux qui permettent d'assurer à l'échelle d'un carrefour la priorité du tramway pour, enfin, montrer les indicateurs principaux à prendre en compte pour s'assurer que le fonctionnement des carrefours est en adéquation avec la stratégie globale d'organisation des déplacements.

3.1 Rendre cohérent l'aménagement et le fonctionnement

L'objectif de cette partie est de présenter, de manière simple, les principes concrets d'aménagement et de fonctionnement des carrefours, qui seront utilisés pour le projet de TCSP de Dijon. Ces principes intègrent les sources réglementaires et les recommandations techniques du CERTU, mais s'appliquent seulement après avoir fait un arbitrage entre toutes les contraintes, afin d'obtenir la combinaison adéquate.

Après avoir défini un certain nombre de concepts simples, liés à la gestion de trafic, et en particulier à la gestion des carrefours à feux, nous préciserons ces contraintes avant de montrer les aménagements et les fonctionnements types à l'échelle d'un carrefour que nous devons mettre en œuvre pour une insertion du TCSP cohérente au regard de notre stratégie globale de régulation.

3.1.1 Notions générales

Il est utile de définir succinctement les quelques notions essentielles pour comprendre le déroulement de cette partie.

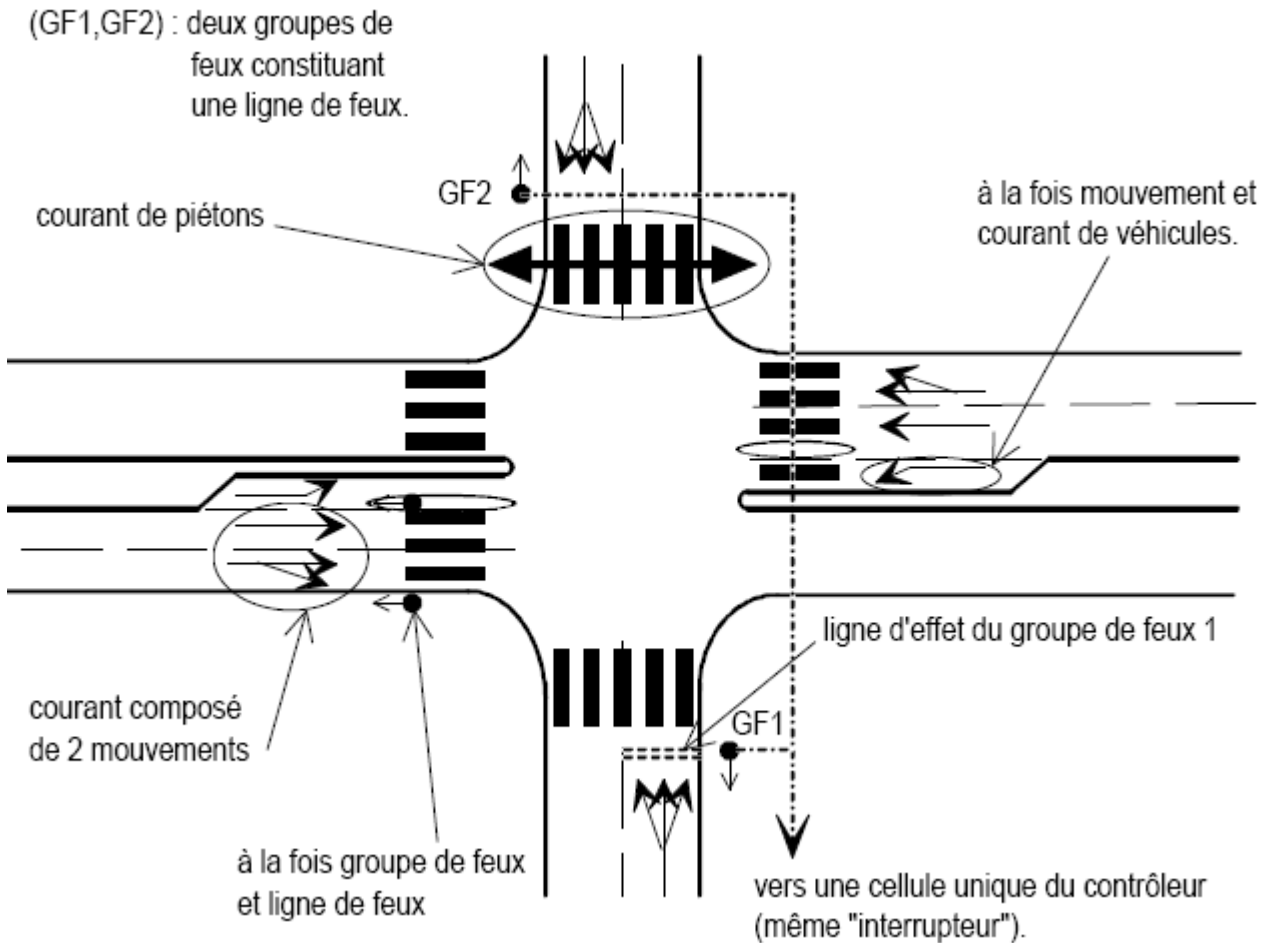
3.1.1.1 Notions au niveau du carrefour

Il y a 3 termes à maîtriser dans un carrefour à feux pour comprendre le fonctionnement d'un cycle.

Le mouvement : une origine et une destination

Le courant : une origine, un début et une fin d'admission simultanés (=groupe de feux). Un courant est constitué de un ou de plusieurs mouvements.

Une ligne de feux : un ou plusieurs courants dont le début et la fin d'admission coïncident. En général, un courant égale à une ligne de feux.

Figure 23 : Illustration du vocabulaire des carrefours à feux

3.1.1.2 Notion de phase et de sous-phase

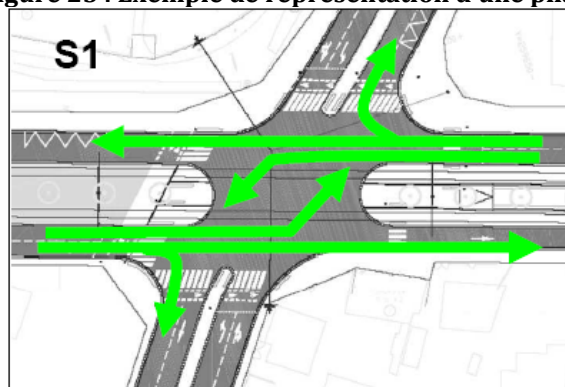
Une phase est un état de commande du carrefour auquel on attribue l'état ouvert ou fermé d'une partie ou de la totalité des lignes de feux du carrefour. C'est la période d'admission commune de un ou plusieurs mouvements. On parle de « sous-phase » lorsque l'état de commande ne concerne pas la totalité des lignes de feux. Ce sont généralement les mouvements antagonistes, pour lesquels il existe un conflit, qui déterminent le phasage. Certains conflits sont interdits et d'autres autorisés, pour la France, nous avons :

Type de conflit	En France	Type de conflit	En France
	CONFLIT PRIMAIRE : INTERDIT		CONFLIT SECONDAIRE : AUTORISE a priori mais à étudier
	CONFLIT PRIMAIRE : INTERDIT		CONFLIT SECONDAIRE : AUTORISE a priori mais à étudier
	CONFLIT PRIMAIRE : INTERDIT		CONFLIT SECONDAIRE : AUTORISE a priori mais à étudier
	CONFLIT PRIMAIRE : INTERDIT		CONFLIT SECONDAIRE : AUTORISE a priori mais à étudier

Il s'agit ici d'exemples simples, cependant, dans la pratique, la géométrie des carrefours n'est pas à l'image d'une croix parfaite et les conflits primaires peuvent être parfois difficilement repérables ou se rapprochent des conflits secondaires. Il convient donc d'étudier avec précision chacune des situations.

Généralement, les mouvements qui n'ont aucune nature conflictuelle entre eux sont alors intégrés dans une même phase, autrement dit, pour être valide, une phase ne doit pas contenir deux lignes de feux ouvertes qui soient antagonistes entre elles :

Figure 25 : Exemple de représentation d'une phase



Afin de respecter le principe de simplicité, il faut limiter au maximum le nombre de phases. Cependant, suivant le volume de trafic, il est parfois utile de construire des phases spéciales pour des mouvements qui pourraient pourtant être tolérés dans d'autres courants.

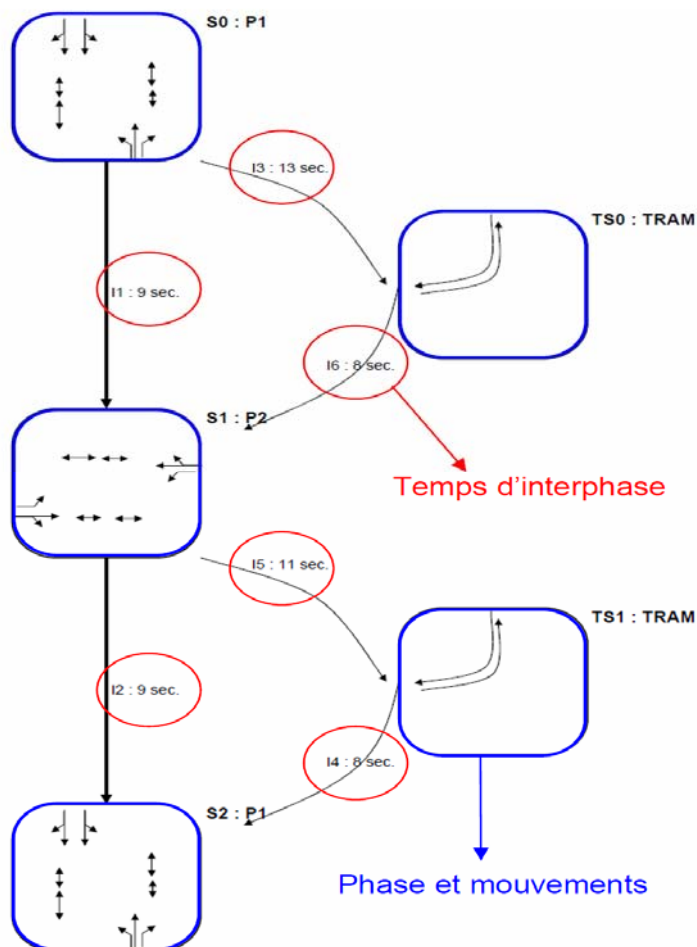
3.1.1.3 Notion d'escamotage

L'escamotage consiste à modifier le déroulement séquentiel en supprimant une phase si aucun usager n'est détecté sur l'entrée correspondante. Dans le cas des « carrefours tramway », la phase incluant le TCSP est escamotable : nous précisons ce fonctionnement par la suite.

3.1.1.4 Notion d'interphase

Une interphase est une période de transition entre une phase et une autre dans le respect de la durée minimale de dégagement, c'est-à-dire de la durée minimale qu'il doit y avoir entre la mise au rouge du mouvement fermé dans la phase précédente, et la mise au vert du mouvement qui s'ouvre dans la nouvelle phase.

Le phasage est donc le graphe décrit par l'ensemble des phases et interphases qui décriront un cycle, essentiel pour réguler le carrefour à feux :



Pour chaque couple de courant, il s'agit de savoir s'il est possible, au regard de la sécurité de l'ensemble des usagers et de la fluidité du carrefour, de les admettre simultanément dans le carrefour. Il y a donc autant de décisions à prendre que de couples de courants. Ces décisions ne peuvent d'ailleurs être prises indépendamment de certains facteurs déterminants que nous décrivons ci-dessous.

3.1.2 Les facteurs déterminants

Le choix d'un type d'aménagement et de fonctionnement pour un carrefour dépend de 4 facteurs déterminants.

3.1.2.1 Les contraintes géométriques

Les contraintes géométriques propres à l'agglomération de Dijon, ou dictées par l'architecte, qui vont poser, dans l'espace, les limites de l'aménagement

Il s'agit donc de bien définir l'emprise disponible. En effet, réguler n'est pas l'objectif principal de l'architecte qui est souvent le dernier garant de l'esthétique du projet et de son harmonisation avec l'espace environnant (alignement des arbres, zone de rencontre, espace vert...). EGIS Mobilité devra donc, dans les limites liées aux règles de sécurité, respecter le choix architectural.

3.1.2.2 Les volumes de trafics à écouler

Les volumes de trafic à écouler aux heures de pointe et notamment des mouvements directionnels à garantir sont des facteurs déterminants.

Nous avons donc mesuré dans la seconde partie de ce rapport les volumes de trafic à l'horizon de la mise en service du tramway. Cependant, si nous avons validé ce trafic par le niveau de saturation des principaux carrefours, nous nous devons désormais de bien tenir compte des trafics directionnels de chacune des branches pour déterminer les aménagements, les affectations de voies, et le fonctionnement adéquat : cela peut passer par la création d'îlots directionnels, de nouvelles voies en entrées ou en sortie, l'allongement de l'espace de stockage (la longueur de queue), etc.

Le tourne-à-gauche (TAG) pose généralement des problèmes : cela dépend de son volume et des flux avec lesquels il est en conflit secondaire. C'est pourquoi, il convient d'examiner avec soin, pour chaque entrée, les conditions de leur écoulement en fonction de l'importance des mouvements en conflit et de la géométrie du carrefour, et ceci pour les différentes périodes de la journée.

En règle générale, tous les carrefours verrous et stratégiques identifiés devront fonctionner avec des feux tricolores car certains flux sont volontairement limités pour maintenir la fluidité de l'itinéraire tramway et assurer la cohérence avec le schéma de circulation futur envisagé par le Grand Dijon. En parallèle, pour éviter les saturations et les remontées de file sur la plateforme tramway, des capteurs mesurant les taux d'occupation seront implantés aux différents points critiques identifiés afin de commander l'ouverture d'une ligne de feux aval ou la fermeture d'une ligne de feux en amont.

3.1.2.3 Les règles d'aménagement liées aux différents modes

Il convient d'harmoniser les différentes règles d'aménagement associées aux divers modes qui traversent le carrefour

En effet, nous devons gérer les voitures, les tramways, les piétons, les vélos, et les personnes à mobilité réduite, et cette multitude d'utilisateurs crée une multitude de conflits qu'il faut gérer dans le respect des règles de sécurité. Ces règles évoluent suivant le type de la zone de rencontre (exemple zone 30, cf annexe 6 **Erreur ! Signet non défini.**)

Pour exemple, les traversées piétonnes :

Dans le fonctionnement des carrefours à feux, la prise en compte des traversées piétonnes peut parfois s'avérer très contraignante. Il faut en effet leur accorder une durée de rouge de dégagement piéton importante (durée nécessaire à un piéton pour effectuer toute la traversée à la vitesse de 1m/s : peut donc atteindre 12 secondes car la longueur maximale d'une traversée piétonne est fixée à 12m)

L'aménagement de ces traversées doit répondre à un double objectif : assurer la sécurité des piétons, tout en ne pénalisant pas trop la capacité du carrefour. Ainsi, la mise en place d'îlots s'avère souvent intéressante, mais « prend » de l'espace aux voitures... De même, la présence de feux sur la plate-forme implique la présence d'îlot refuge d'une largeur conseillée au moins égale à 2m en tout point (avec un minimum absolu de 1m50) mais qui va parfois à l'encontre des exigences de l'architecte...

Pour les vélos, la piste cyclable ayant été privilégiée, il faut associer, en parallèle, les deux roues aux piétons, mais pose des problèmes sur le trottoir, en marge de la traversée : est-ce une zone piétonne ? une zone vélo ? une zone mixte ? quel doit être le marquage ?...

.

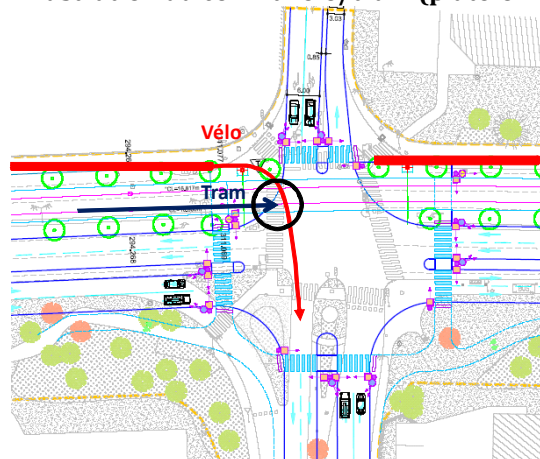
3.1.2.4 L'insertion du matériel

La plate-forme tramway et de la Signalisation Lumineuse Tricolore (SLT) font partie des facteurs qui vont influencer l'aménagement et le fonctionnement d'un carrefour. En effet, l'insertion de ce matériel pose d'importantes contraintes d'emprise, pour exemple :

L'implantation de la plateforme de TCSP va contraindre à un certain phasage, et pourra créer dans certains cas des conflits particuliers.

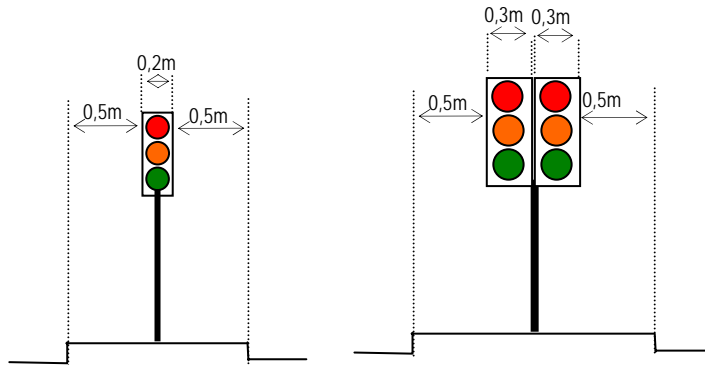
Par exemple lorsque la plateforme est latérale, le long du trottoir, le conflit vélo/tramway pose problème car le cycliste est susceptible de traverser à hauteur de la voirie (et non du passage piéton) pour rejoindre la voie d'en face (cheminement le plus direct et le plus simple) :

Figure 26 : Illustration du conflit vélo/tram (plateforme latérale)



Pour gérer ce conflit, le choix a été d'orienter la piste cyclable vers l'extérieur du carrefour et d'ajouter un feu spécifique pour les vélos.

L'implantation des feux tricolores classiques prend, dans une moindre mesure de l'espace: D'une manière générale, les feux tricolores doivent toujours être implantés directement à droite de la voie de circulation concernée (mise à part quelques exceptions). Ces dispositions rendent ainsi parfois nécessaire d'implanter des îlots pour positionner les feux. Leur largeur minimale varie entre 1m20 et 1m60 :



Ce travail préliminaire de recherche, pour prendre connaissance, à la fois dans les textes et sur le terrain, de toutes les contraintes qui existent face à la diversité des situations, des usagers, et des conflits, est très long mais reste cependant essentiel pour construire les modèle-types d'aménagement et de fonctionnement.

3.1.3 Aménagement et fonctionnement : carrefours types

Nous distinguons plusieurs types d'intersections :

- Les carrefours à feux traversés par le tramway en axial
- Les carrefours à feux traversés par le tramway en latéral
- Les carrefours giratoires et les places à feux à sens giratoire
- Les franchissements de la plateforme gérés par des signaux R24

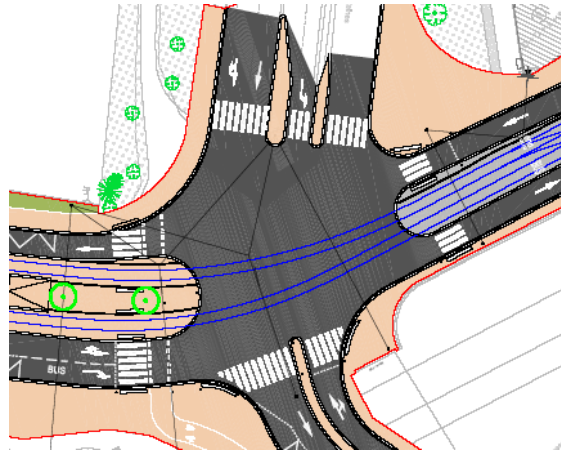
3.1.3.1 Carrefour à feux avec la plateforme TCSP en axial

Il s'agit de carrefours pour lesquels la plateforme du tramway est axiale et la circulation générale le long du tramway s'effectue de part et d'autre de la plateforme. Lorsque les véhicules le long de la plateforme souhaitent tourner à gauche, ils franchissent la plateforme. Lorsque les véhicules sur les axes transversaux s'engagent dans le carrefour en Tourne-à-gauche ou en tout droit, ils franchissent la plateforme.

Il existe plusieurs modes de gestion possibles pour ce type de carrefour :

Gestion du carrefour sans mouvements VP compatibles avec la phase tramway avec ou sans voie spécialisée de tourne-à-gauche :

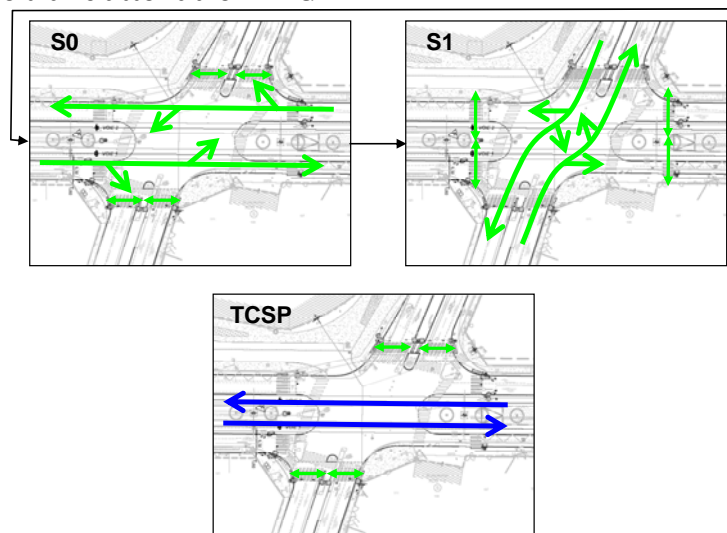
Il s'agit de carrefours tels que celui-ci-dessous :



Cet aménagement convient dans les carrefours avec des mouvements tournants relativement faibles. Hors passage du tramway, le carrefour peut fonctionner en deux phases :

- axe principal ;
- axe perpendiculaire.

Les mouvements de TAG se stockent temporairement au centre du carrefour en utilisant l'espace fourni par la plateforme tramway. On peut également prévoir une prolongation de l'interphase entre les deux phases pour évacuer tous les TAG. Le fonctionnement choisi dépend du niveau de trafic attendu en TAG.



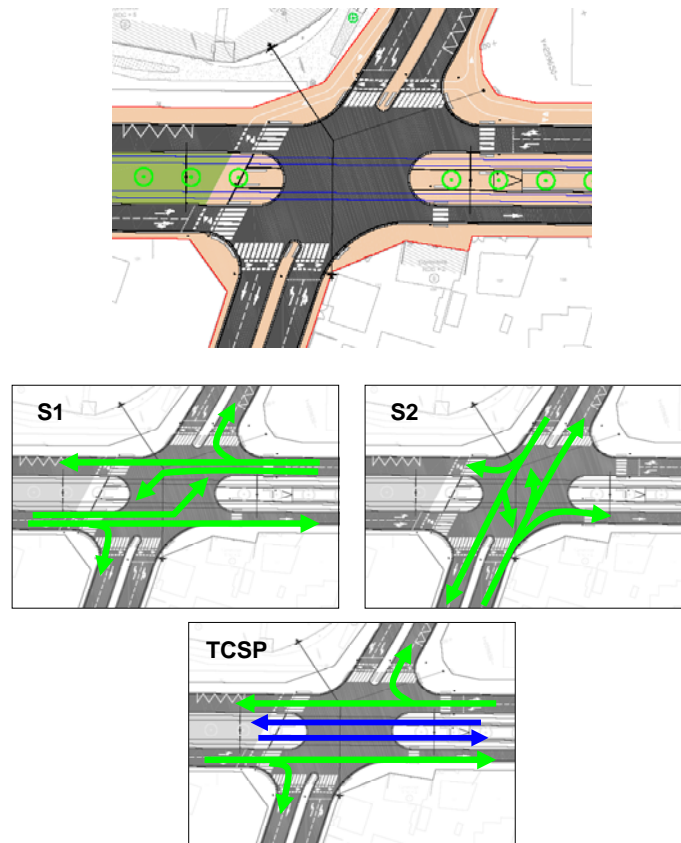
Lorsque le TCSP circule, seuls certains mouvements piétons peuvent être donnés, les phases VP ne sont pas compatibles.

Gestion du carrefour incluant des mouvements VP compatibles avec la phase tramway et nécessitant donc la gestion dissociée des mouvements TD/TAD (Tout Droit / Tourne-à-Droite) et TAG (Tourne-à-gauche)

Si le volume de trafic en tourne-à-gauche est important, ou que pour des raisons de capacité du carrefour il est nécessaire de dissocier les mouvements TD/TAD et TAG afin d'obtenir une phase compatible avec la phase tramway, une voie spécialisée de tourne-à-gauche peut être créée.

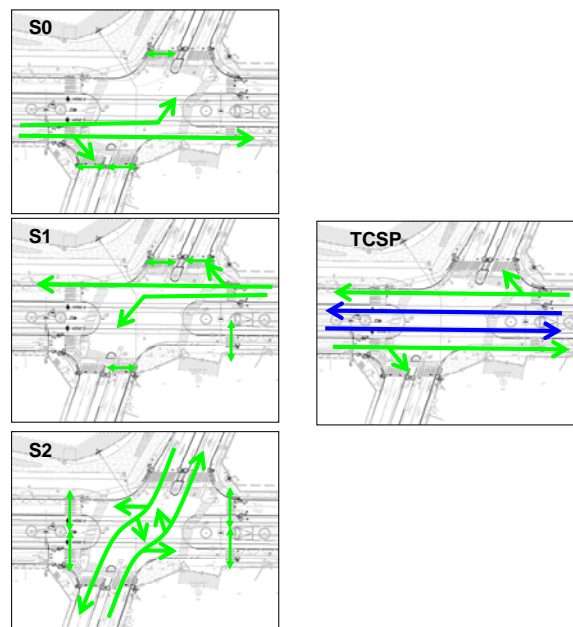
Il existe alors plusieurs configurations :

Le carrefour fonctionne en 2 phases, hors phase tramway : cet aménagement est mis en œuvre lorsqu'il est nécessaire d'avoir une phase TD/TAD compatible avec la phase tramway et que les flux de tourne-à-gauche restent faibles.



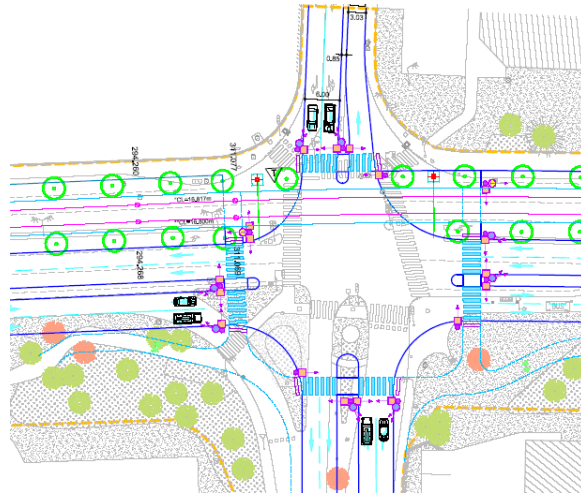
Le carrefour fonctionne en 3 phases, hors phase tramway : cet aménagement est mis en œuvre lorsque les flux de tourne-à-gauche sont forts. Les mouvements de TD/TAD sont alors potentiellement compatibles avec la phase tramway.

Exemple de phasage :



3.1.3.2 Carrefour à feux avec traversée latérale de la plateforme

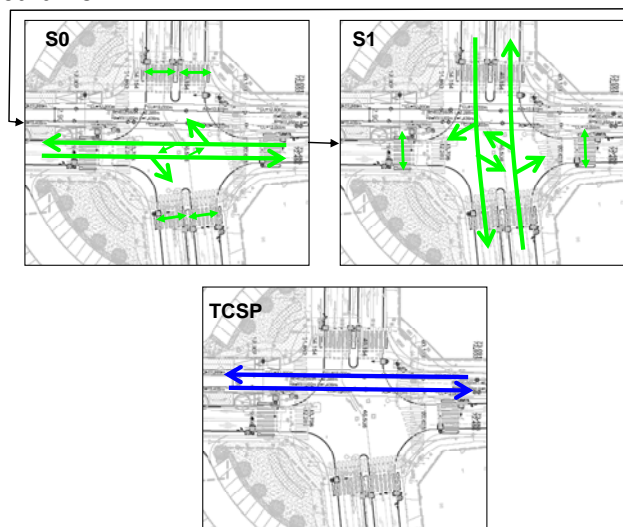
Il s'agit de carrefours tels que dessinés ci-dessous :



La plateforme du TCSP est latérale et la circulation générale le long du tramway ne s'effectue que d'un côté de la plateforme.

Tant que les flux de tourne à gauche restent faibles, le carrefour peut fonctionner en deux phases, hors passage du tramway :

- axe principal ;
- axe perpendiculaire.

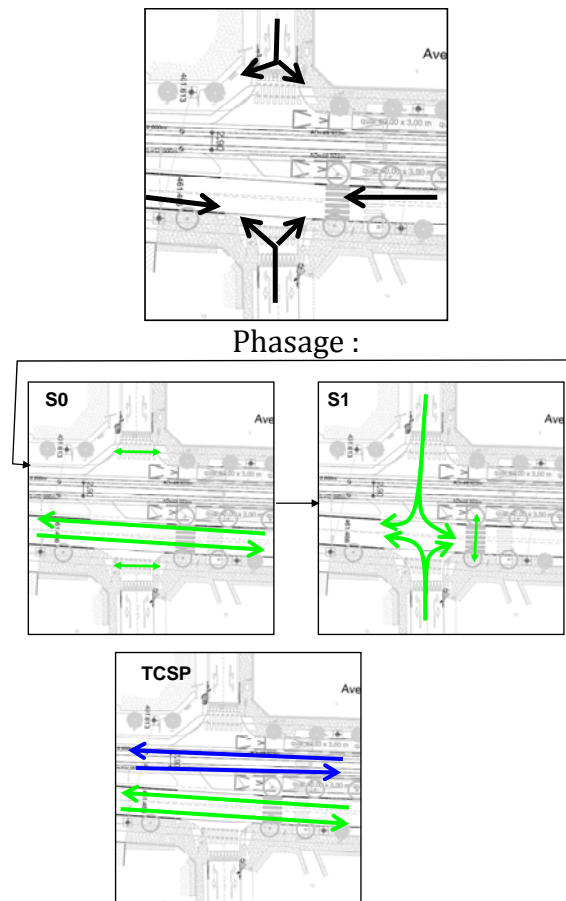


Lorsque le TCSP circule, seuls certains mouvements piétons peuvent être donnés, les phases VP sont considérées comme non-compatibles avec la phase TCSP puisque certains véhicules pourraient chercher à franchir la plateforme.

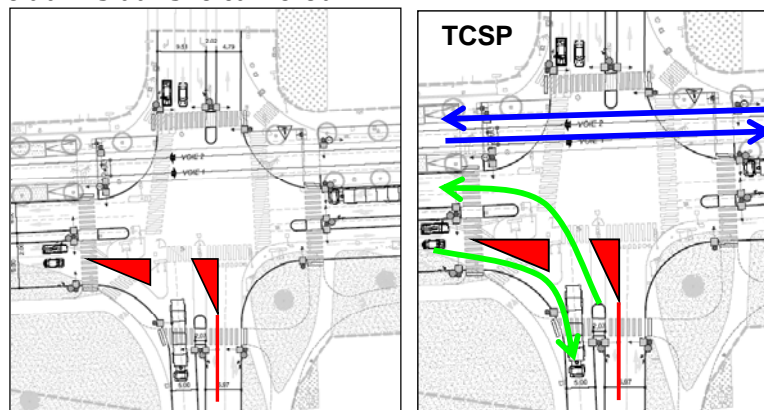
Dans certains cas précis, des mouvements VP peuvent être considérés comme compatibles avec la phase tramway.

- Lorsque les deux voies transversales sont en sens unique entrant vers le carrefour et que le mouvement principal n'est jamais amené à franchir la plateforme.

Mouvements possibles dans le carrefour :



- Ou lorsque des mouvements directionnels forts peuvent être rendus compatibles grâce à un aménagement physique du carrefour (implantation d'îlots séparateurs orientant les flux). Ce type de fonctionnement doit être justifié par des volumes de trafic importants et l'aménagement physique du carrefour doit guider réellement le flux de véhicules. Dans ce cas, durant la phase TCSP, les mouvements figurés ci-dessous peuvent être admis dans le carrefour :

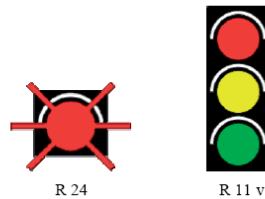


3.1.3.3 Carrefours giratoires et places à feu à sens giratoire

Les giratoires traversés par un tramway :

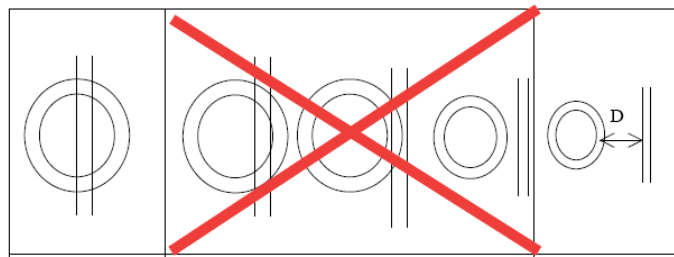
Les récentes études, réalisées par le STRMTG et le CERTU, liées à la problématique des giratoires franchis par des tramways précise le mode de fonctionnement et les principes de conception de ce type de giratoires.

Hors approche ou présence du tramway, le carrefour fonctionne comme un carrefour giratoire classique. À l'approche d'un tramway, les mouvements de véhicules potentiellement en conflit avec le tramway, et ceux-là seulement, sont arrêtés. Aussitôt que le tramway a quitté le carrefour, le fonctionnement en giratoire reprend. La signalisation lumineuse gérant le conflit avec le tramway est de type R24 de préférence, ou de type R11v (feu classique) à défaut. Mais dans ce cas précis, il n'y a pas de phasage à réaliser.



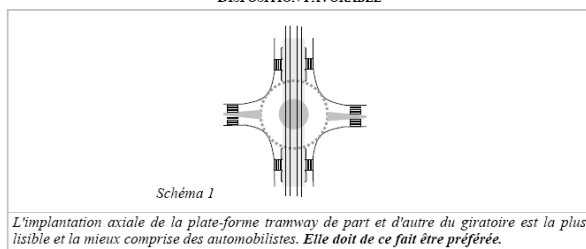
Ce mode de fonctionnement ne peut être appliqué que dans quelques cas particuliers d'implantation de la plateforme tramway :

Traversée de la chaussée annulaire

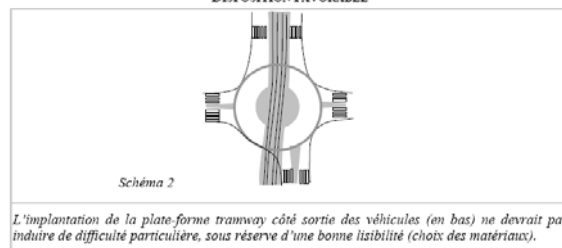


Lorsque le tramway franchit l'anneau, il peut être implanté soit de manière parfaitement axiale (passage au plus proche du centre de l'anneau), soit de manière latérale du côté de la sortie uniquement.

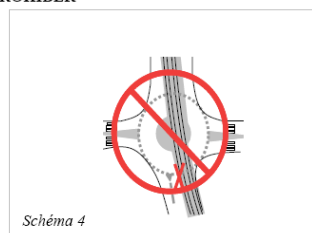
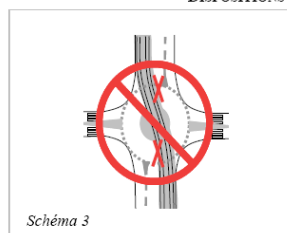
DISPOSITION FAVORABLE



DISPOSITION FAVORABLE



DISPOSITIONS À PROHIBER



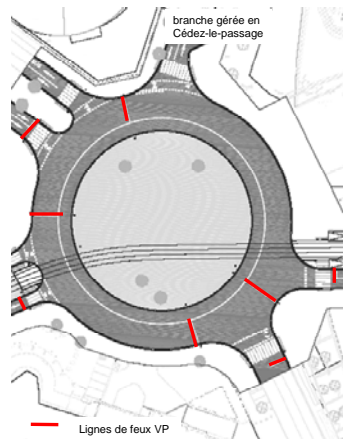
D'une manière générale, un automobiliste s'engageant dans un giratoire ayant cette dernière configuration ne perçoit pas suffisamment tôt la présence du tramway, cette configuration est accidentogène.

En termes de dimensionnement, des règles particulières sont à prescrire suivant le nombre de branches.

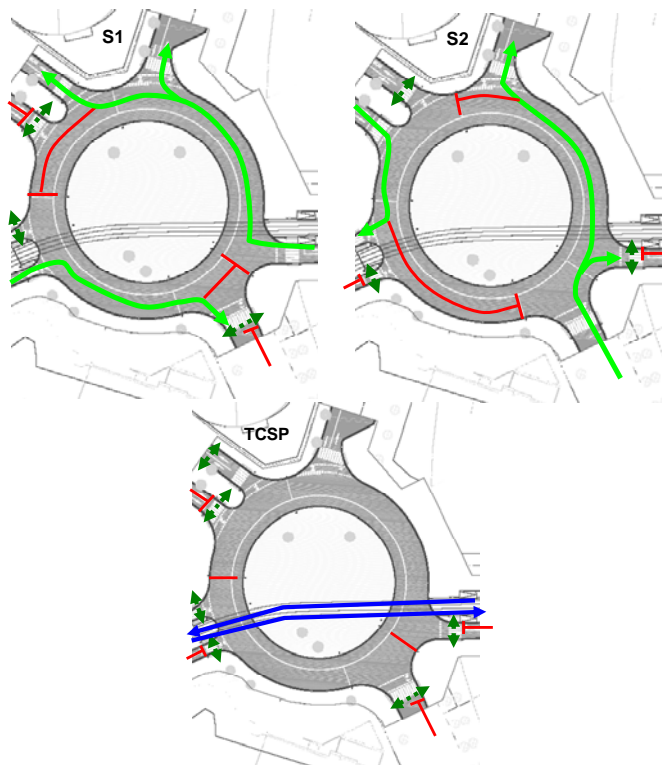
Les places à feux :

Cet aménagement consiste à gérer les ronds-points comme de multiples carrefours à feux coordonnés.

Il s'agit alors d'implanter des lignes de feux à chaque point de conflit à l'intérieur de l'anneau (au droit des traversées de plate-forme mais aussi des branches d'entrée), et de commander celles-ci selon un phasage de feux adapté à la structure du trafic estimé aux entrées (importance des flux et de leur origine-destination). Les conflits sont alors gérés au niveau de chaque sous-carrefour. Certaines branches dont les trafics sont faibles pourront être gérées en cédez-le-passage.



En termes de fonctionnement, le principe est donc le suivant :



3.1.3.4 Franchissement de la plateforme gérée par des signaux R24

Ce type de fonctionnement concerne essentiellement 3 types d'intersections :

- les accès riverains (ils peuvent également être gérés uniquement par de la signalisation statique, dans les cas où le trafic est peu important, la vitesse d'exploitation du tramway est faible et la visibilité est bonne)
- les carrefours simples à faible trafic (conflit avec le tramway sur un mouvement tournant)
- les franchissements par une voie de circulation de la plate-forme tramway uniquement (en dehors d'un carrefour).

Le feu de type R24 est un feu de signal d'arrêt interdisant à tous les véhicules le franchissement de la plate-forme pendant le passage du tramway. En dehors du passage tramway le feu est éteint et c'est donc la signalisation statique qui donne le régime de priorité qui s'applique (cédez-le-passage, stop, etc.).

3.2 Fonctionnement des carrefours : prise en compte de la priorité tramway

Cette partie traite des principes à appliquer, au niveau des intersections, pour assurer la priorité tramway. En effet, trouver un phasage simple est une étape importante, mais il faut désormais organiser ces phases pour que le carrefour puisse assurer la priorité maximale au tramway, c'est-à-dire que le tramway puisse trouver le feu vert à son arrivée et le site propre dégagé. N'oublions pas que le passage du tramway est aléatoire : sa fréquence est seulement une moyenne, et l'instant d'arrivée du tramway dans un cycle est aléatoirement réparti, on n'insère donc pas une phase tramway comme on insère une phase classique. Adapter le fonctionnement de la signalisation tricolore au trafic consiste donc à pouvoir changer de phase et modifier leur durée en tenant compte d'une demande qui est à la fois prévisible et aléatoire.

3.2.1 La priorité maximale

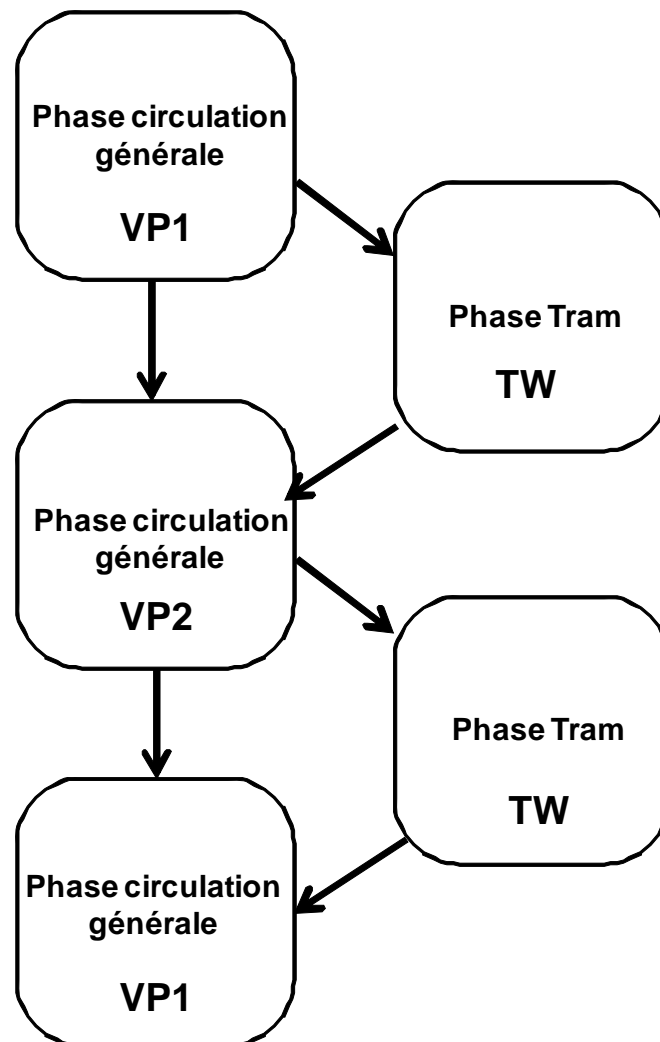
La mise en œuvre de la priorité maximale au tramway, dans les algorithmes de fonctionnement du carrefour, consiste en premier lieu à définir un programme "de base" fonctionnant sans priorité et qui correspond au fonctionnement souhaité du carrefour pour tous les usagers, hors tramway.

Le programme de base est ensuite étendu en prévoyant la sortie à tout moment d'une phase escamotable assurant le service aux tramways.

Certains états sont dédiés aux usagers hors tramway, d'autres états sont dédiés aux tramways compatibles éventuellement avec d'autres usagers.

3.2.2 Condition principale

Tous les états dédiés aux tramways doivent être escamotables : le programme se devant de passer par tous les états ne passera par un état tramway seulement à la détection d'une rame.



A partir de ce fonctionnement de base, pour tous les carrefours, le principe de la priorité maximale au tramway va consister à :

1. détecter le tramway,
2. gérer son approche,
3. assurer le vert au moment de son arrivée,
4. revenir au plus vite sur le fonctionnement de base (phase circulation générale).

3.2.3 Objectif et principe d'application

L'objectif principal consiste à toujours offrir la phase tramway en perturbant le moins possible la circulation générale. Hors passage du tramway sur le carrefour, le fonctionnement prédéfini assure au mieux la gestion des autres usagers.

La phase tramway est insérée suite à la phase VP1 ou suite à la phase VP2. Le déroulement des phases dans un cycle peut être le suivant :

- soit $VP1 \rightarrow TW \rightarrow VP2 \rightarrow VP1$,
- soit $VP1 \rightarrow VP2 \rightarrow TW \rightarrow VP1$.

Quel que soit l'instant d'arrivée du tramway sur le carrefour par rapport au déroulement du cycle, la phase tramway doit être ouverte.

Pour ce faire les phases véhicules avant l'ouverture d'une phase tramway sont :

- soit dilatées (allongées vers la durée maximum) dans leurs durées : dans l'attente de la rame,
- soit raccourcies (vers la durée minimum) dans leurs durées : pour offrir la phase tramway au plus vite à l'instant d'arrivée de la rame sur le carrefour.

Suite au passage du tramway, le carrefour retourne au plus vite sur la phase véhicules suivante.

Remarque : Le Signal d'Aide à la Conduite (SAC) permet d'optimiser le temps de passage du tramway : le losange permet d'informer le conducteur que celui-ci a été pris en compte et le point d'exclamation commence à clignoter 3 secondes avant le feu « vert » du tram. Le conducteur anticipe donc largement son passage au « vert » et optimise ainsi sa vitesse.

3.2.4 La détection du tramway

Pour assurer la priorité du tramway dans les différents carrefours, il est nécessaire de pouvoir le positionner, pour ce faire, nous utilisons les éléments suivants :

- des balises embarquées dans les rames qui fourniront des informations du type :
 - avant/arrière du tramway
 - information de condamnation des portes
- des capteurs au sol qui transmettront au contrôleur les informations suivantes :
 - Présence magnétique,
 - Présence numérique, fournie par les balises situées sous la tête et sous l'arrière de la rame
 - Départ de station

Le système de détection (balise + boucles + détecteurs) est nécessaire pour préparer les carrefours à l'arrivée d'un tramway ainsi que pour s'assurer que le tramway a bien franchi le carrefour.

3.2.5 Le suivi du tramway

Les boucles implantées dans un carrefour donné permettront de recueillir des informations qui seront transmises aux autres carrefours, via la liaison inter-carrefour, afin de préparer au mieux l'arrivée du tramway (gestion des délais d'approche du tramway). Ainsi, nous utiliserons systématiquement, pour un sens de progression du tramway, les informations données par les capteurs sélectifs suivants :

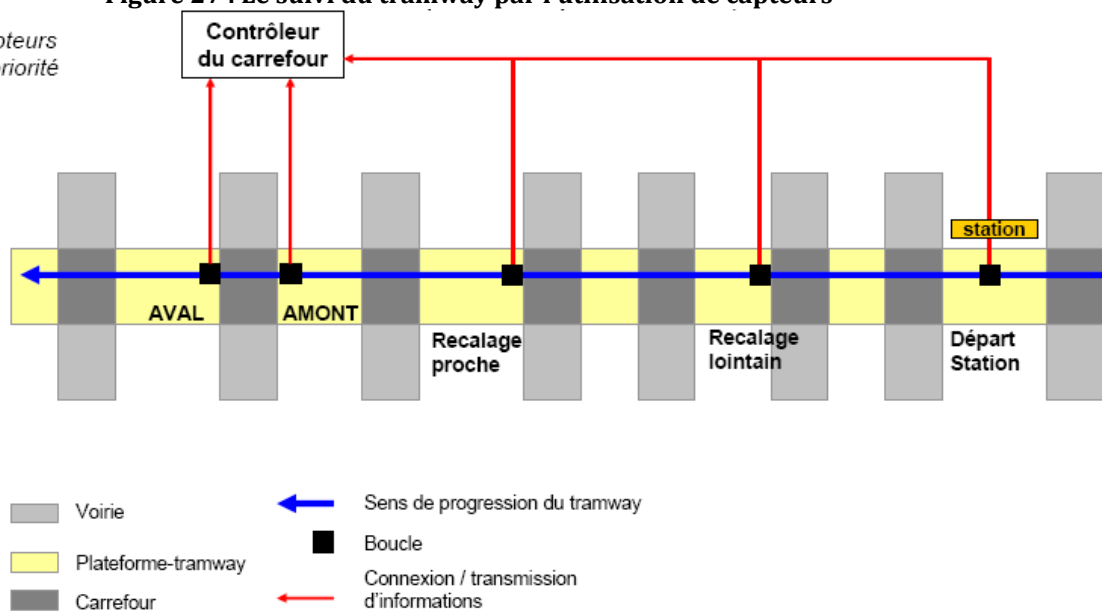
- les capteurs en station de tramway pour la prise en compte à son arrivée, et son information de départ de station.

Remarque : Il est important de placer des capteurs en station puisque l'arrêt du tramway est aléatoire suivant les périodes de la journée et de l'année. Il est donc impossible de prendre en compte cette durée dans les temps d'approche.

- jusqu'à deux capteurs intermédiaires sur un carrefour en amont, utilisés pour le recalage dynamique de position ;
 - un situé à environ 30 secondes (le délai d'approche doit être supérieur au temps de réactivité du carrefour)
 - un situé à environ 10 à 15 secondes (le délai d'approche doit être supérieur au temps minimum nécessaire pour l'interphase VP/Tramway + SAC + durée d'avant vert tramway)
- le capteur d'engagement utilisé pour détecter que le tramway soit bien engagé dans le carrefour et ainsi fermer la ligne de feux tramway et engager l'interphase vers une phase VP si aucun autre tramway n'est détecté en approche ;
- le capteur de dégagement utilisé pour contrôler que le tramway a bien quitté la zone de conflit et ouvrir les feux antagonistes

Figure 27 : Le suivi du tramway par l'utilisation de capteurs

Position des capteurs utilisés pour la priorité



Source : Egis Mobilité

3.3 Construction du dossier de fonctionnement

Pour chacun des carrefours à feux, une fois l'aménagement précisé, un plan de feux est défini. Nous précisons par la suite les principes de construction d'un plan de feux, mais il faut

néanmoins s'assurer avant tout, une analyse du fonctionnement doit être réalisée, afin de vérifier que ce plan de feux assure :

- La sécurité des différents usagers et notamment des piétons,
- Le passage du tramway en priorité,
- Du bon niveau d'écoulement des flux VP que nous avons déterminé dans la stratégie globale de macro-régulation.

Plusieurs indicateurs permettent de mesurer le degré de respect de ces objectifs.

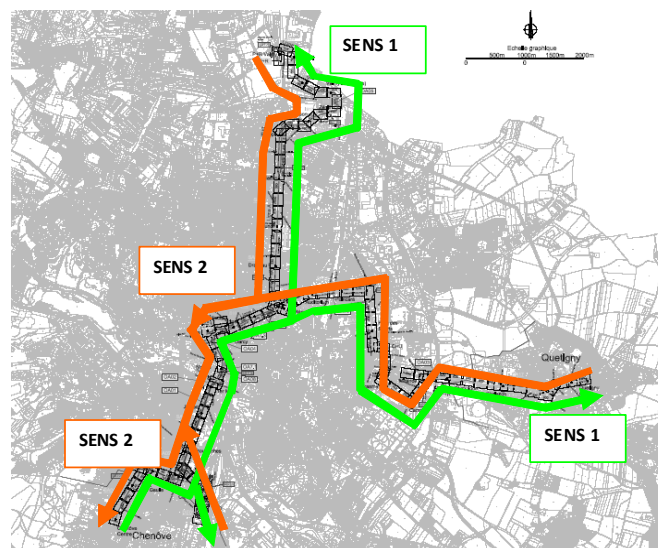
3.3.1 Principes de construction du dossier de fonctionnement

3.3.1.1 Numéroté les lignes de feux

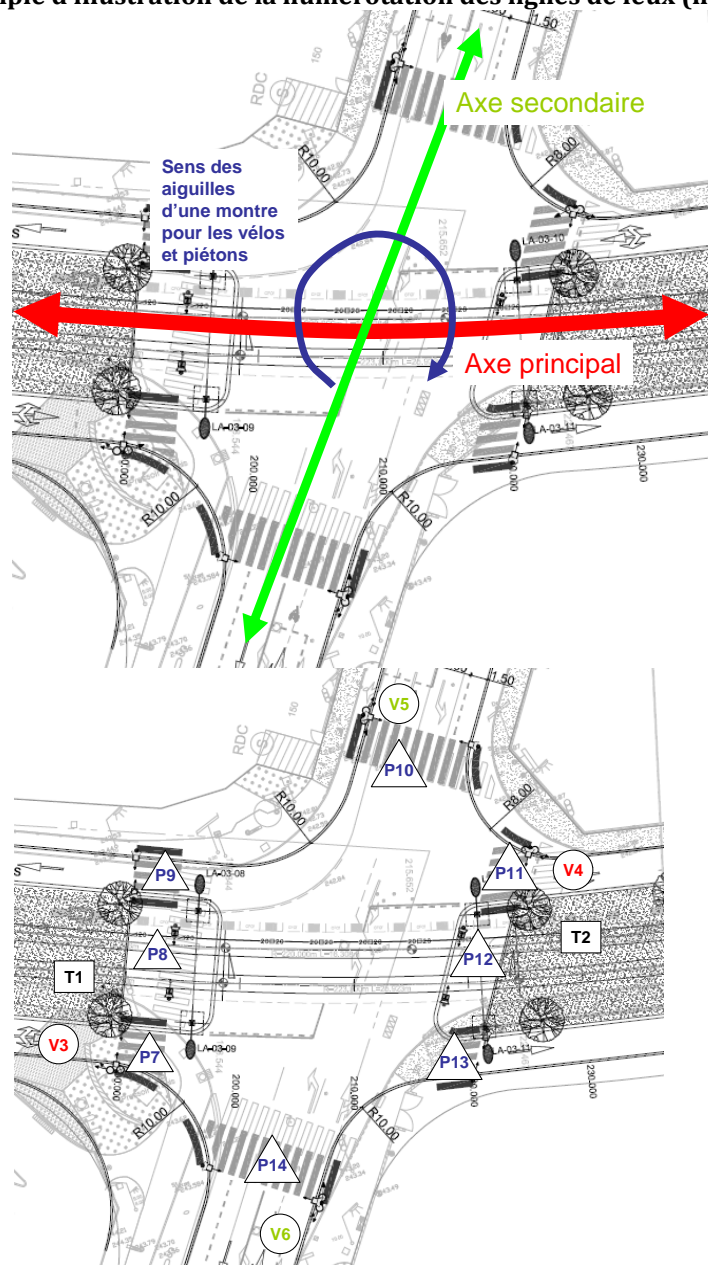
La numérotation des lignes de feux sert avant toute chose à les « nommer » afin de les distinguer et de pouvoir, d'une part, préciser leurs caractéristiques, et d'autre part, de porter les modifications nécessaires à chacune d'elle tout au long de l'étude de régulation, mais aussi sur le terrain, au niveau du contrôleur.

Le principe, pour le cas de Dijon, a été de numéroté d'abord les lignes de feux

- tramway : en tenant compte du sens et la ligne (A ou B), nous avons donc quatre numérotations : T1 (ligne A, sens 1) T2 (ligne B, sens 2, T3 (ligne B, sens 1) et T4 (ligne B, sens 2)



- voitures/bus : d'abord l'axe identifié comme principal et ensuite le secondaire,
- les piétons : dans le sens des aiguilles d'une montre, à partir de la première ligne de feux VP numérotée.
- les vélos : dans le sens des aiguilles d'une montre, à partir de la première ligne de feux VP numérotée.

Figure 28 : Exemple d'illustration de la numérotation des lignes de feux (hors tramway)

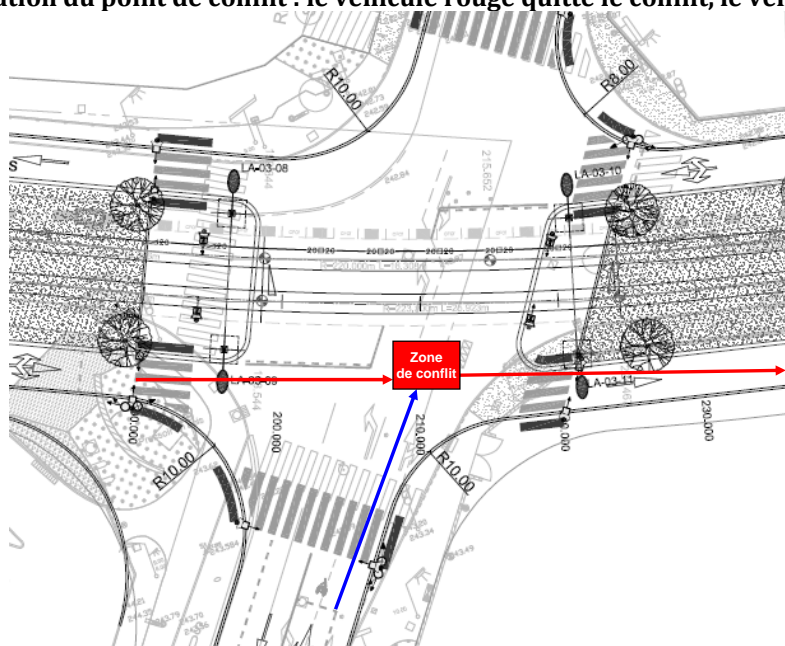
Ces lignes de feux vont être distinguées par :

- le type de feu
- la durée de vert minimum : pour Dijon, le temps de vert nécessaire pour l'axe principal est supérieur à celui de l'axe secondaire,
- le nombre de voies par ligne de feux et par affectation : afin de mesurer le trafic écouler par courant, et appliquer des coefficients de gêne. (nous précisons cela par la suite)

3.3.1.2 Mesurer les temps de sécurité

Les temps de sécurité correspondent à la durée minimale nécessaire à un véhicule pour dégager le point de conflit avant l'engagement du courant antagoniste qui suit, et assurer ainsi la sécurité des usagers.

Nous présentons l'exemple d'une mesure du temps de sécurité entre deux phases de circulation générale :

Figure 29 : Illustration du point de conflit : le véhicule rouge quitte le conflit, le véhicule bleu s'engage

Il faut donc tenir compte du temps de sécurité : ce temps est égal au temps nécessaire pour que le véhicule « rouge » atteigne la zone de conflit auquel il faut déduire le temps nécessaire au véhicule bleu pour atteindre la zone de conflit.

Mais il existe une multitude de situation qui modifie la façon de mesurer le temps de rouge de dégagement. En effet, il faut tenir compte :

- De l'usager : caractérisé par sa vitesse et son gabarit (pour l'étude de Dijon, les longueurs des véhicules ne sont pas prises en compte)
- Du mouvement réalisé : qui peut réduire la vitesse
- Du type de la phase qui s'engage et qui dégage :

Par exemple : si on se trouve dans une interphase où nous avons le dégagement d'une phase de circulation général et l'engagement d'une phase tramway, alors le temps nécessaire pour que le tramway atteigne la zone de conflit n'est pas déduit du temps nécessaire pour que le véhicule atteigne cette zone. C'est une façon de s'assurer que la plateforme est dégagée lorsque le tramway franchit sa ligne de feux.

Tout est fait pour s'assurer de la sécurité des usagers, ainsi, le temps de dégagement d'une zone de conflit est arrondi à l'unité supérieure, et le temps d'engagement à l'unité inférieure.

Ces temps minimum de sécurité sont regroupés dans une matrice de sécurité :

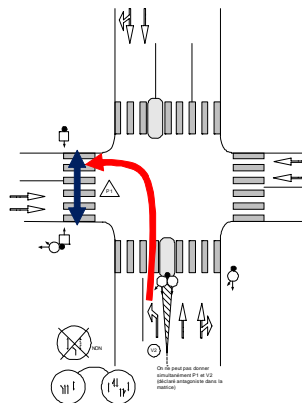
Figure 30 : Représentation d'une matrice de sécurité

		Début de							
		T1	T2	V3	V4	V5	P6	P7	C8
Fin de	T1			0	0	0			0
	T2			0	0	0			0
	V3	4	4			1	1		0
	V4	1	2			1	3		0
	V5	2	1	1	1			1	
	P6			6	3				
	P7					7			
	C8	1	1	2	1				

3.3.1.3 Optimiser les temps d'interphases

Les temps d'interphase sont constitués par les temps de sécurité existant entre deux courants antagonistes, cependant, il faut s'assurer de plusieurs choses qui viendront modifier quelques peu ces temps de bases :

- S'assurer que sur une même branche, deux lignes de feux accolées s'ouvrent en même temps, sans décalage.
- S'assurer de la cohérence des fermetures des verts piétons sur une même traversée mais avec des ilots refuge.
- S'assurer qu'il n'y a pas de décalage à l'ouverture, entre deux courants d'une même phase
- Augmenter les durées d'interphase lorsqu'il est nécessaire de gérer l'évacuation de tourne-à-gauche et créer des décalages à la fermeture en s'assurant que les piétons en conflit avec ces tourne-à-gauche sont fermés :

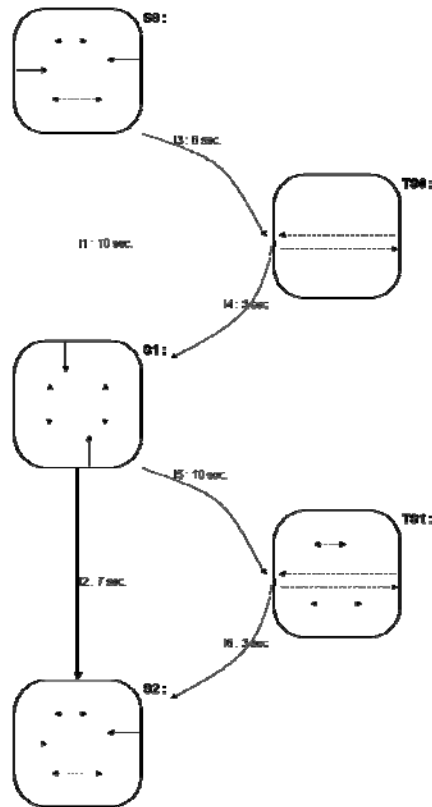


Il s'agit d'ajouter, à ces temps de sécurité, des temps de « respiration » afin d'écouler les mouvements gênés.

3.3.1.4 Construire le phasage

Dans la première et deuxième partie de ce chapitre, nous avons montré les principes de construction de ce phasage. Nous précisons juste que le fait que la phase tramway soit

escamotable, et qu'elle peut intervenir à tout moment dans le fonctionnement de base, nous oblige à prévoir une phase tramway spécifique entre chaque phase de circulation générale. Mais elles ne sont pas forcément identiques car on y intègre des mouvements compatibles piétons le plus souvent. Cependant, les temps de dégagement piéton étant généralement très long (Vitesse piéton à 1m/s), on ouvre les feux piétons qui seront déclarés dans la phase de circulation générale suivante, et ainsi on minimise le temps de retour au fonctionnement de base :



3.3.1.5 Adapter les temps de vert suivant les trafics

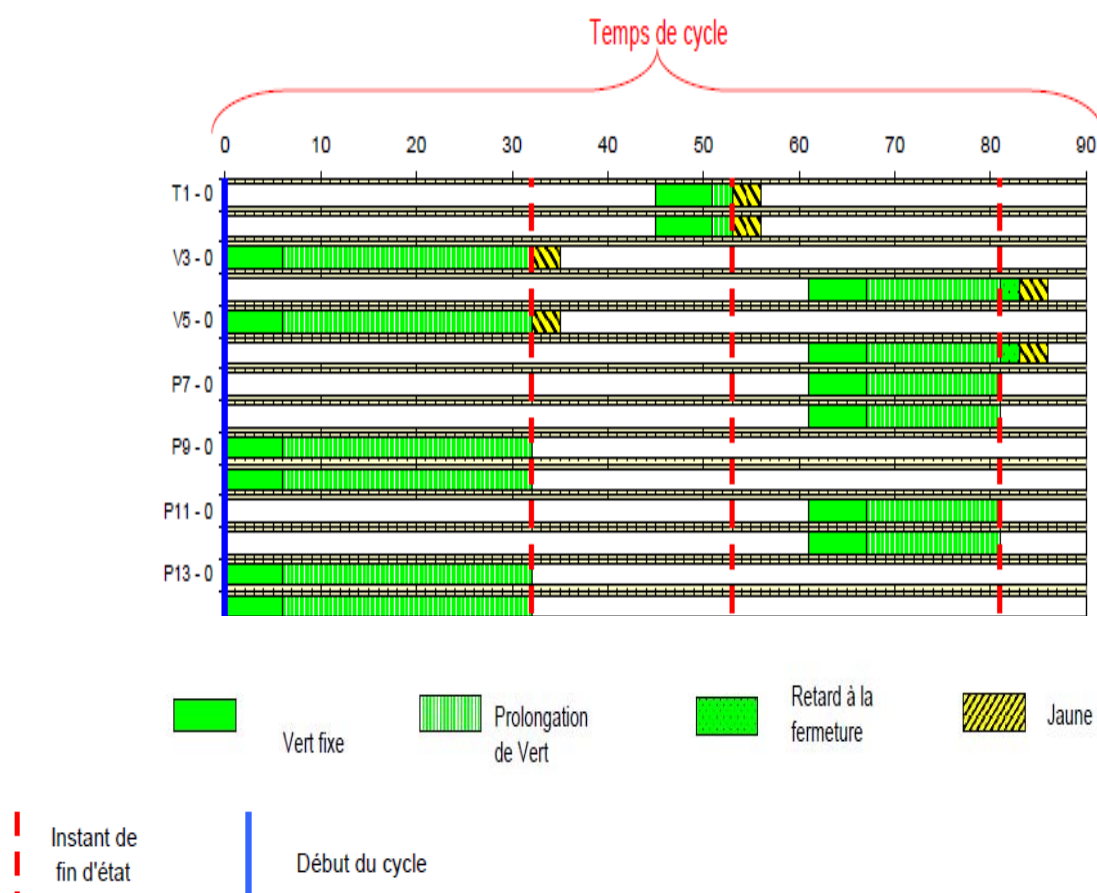
Enfin, nous déterminons un temps de vert effectif à chaque période clé de la journée :

- Aux heures de pointe du matin et du soir : les mesures de trafic ont été précisées dans le second chapitre
- Aux heures creuses et la nuit : pour cela, des hypothèses suivant le quartier étudié sont posées pour déterminer une part relative de l'heure de pointe du soir.

Pour Dijon, les hypothèses sont les suivantes ;

(valeurs de X et Y)	Heures creuses	Nuit
Secteur centre	65%	10%
Secteur sud	50%	5%
Secteur nord	60%	5%
Secteur Est	50%	5%

Nous pouvons désormais constituer le diagramme de feux :

Figure 31 : Diagramme de feux

3.3.2 Les indicateurs

Cette étape est primordiale : il s'agit ici de s'assurer si le carrefour tel qu'il est envisagé est viable. Nous présentons les indicateurs qui permettent de le vérifier.

Ces indicateurs interviennent à deux niveaux :

- au niveau de la phase d'avant projet, pour tester les niveaux de capacité des carrefours et rechercher des principes d'aménagements cohérents.
- Au niveau de la phase projet, pour s'assurer que le fonctionnement du carrefour (temps des phases et des interphases) retenu est approprié au volume de trafic et à l'aménagement final.

Remarque : pour les calculs de capacité des trafics des « carrefours tramway » en phase d'avant projet, les temps intégrés pour un cycle (généralement 90 secondes) ont été estimés au prorata de la fréquence des interruptions liées au tramway dans une heure.

Par exemple sur le tronçon commun, la fréquence du tramway est de l'ordre de 1 tramway/5 minutes par sens et par ligne, cela conduit à considérer que le carrefour sera perturbé par environ 48 phases tramway dans l'heure (hypothèse maximaliste car certains tramway arriveront simultanément et pourront franchir le carrefour en même temps). Avec 48

interruptions par heure, cela revient à dire que pour un cycle de 90 secondes, il y aura 1,3 interruption par cycle. Donc en partant de l'hypothèse maximaliste qu'une phase tramway dure 15 secondes (compris les temps de dégagement) cela signifie que sur un cycle, on aura en moyenne :

- 20 secondes utilisées par les tramways
- 70 secondes disponibles pour les autres véhicules

3.3.2.1 Débits de saturation

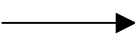


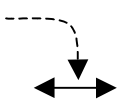
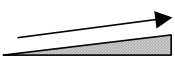

Définition : c'est le débit maximal, donné en uvp/h (unité véhicule particulier à l'heure), que peut écouler l'entrée du carrefour lorsque le feu associé est au vert.

Notation générique : S_{max}

Calcul : les débits de saturation non corrigés suivants seront pris par défaut en fonction du nombre de voies :

Nombre de voie	Débit de saturation non corrigé
1 voie	1800 uvp/h
2 voies ou plus	1600 uvp/h par file supplémentaire

Des coefficients correcteurs sont ensuite appliqués pour tenir compte de la géométrie et de l'environnement du carrefour :

Type de mouvement		Coefficient de correction
	Direct non gêné	1
	Mouvement tournant soumis à une giration de 90°	0.9
	Mouvement tournant soumis à une giration difficile	0.8
	Mouvement tournant cédant la priorité à un flux continu et important de piétons	0.75
	Pente montante 5%	0.9
	Pente montante 10%	0.75

3.3.2.2 La capacité d'une entrée ou d'un carrefour

Définition : la capacité exprime le débit maximal que peut assurer une entrée ou la totalité du carrefour avec le fonctionnement du carrefour. La capacité est par définition toujours inférieure au débit de saturation.

Notation générique : S

Calcul : pour un plan de feux fixe, la capacité d'une entrée est calculée en appliquant au débit de saturation le ratio durée effective de vert (dV) sur durée de cycle (T_c)

$$S = \frac{dV}{T_c} \cdot S_{\max}$$

La capacité du carrefour se définit comme la somme de la capacité de ses entrées. Elle représente donc le trafic maximal en uvp/h que peut écouler le carrefour.

3.3.2.3 Les durées nécessaires

Définition : avec une durée de cycle donnée, les durées nécessaires expriment les durées minimums à appliquer par cycle à une ligne de feux, une phase ou au carrefour pour ne pas avoir de saturation.

La durée effective n'est pas systématiquement la durée nécessaire.

Une durée nécessaire au carrefour supérieure à sa durée de cycle (durée effective) exprime le fait que quel que soit le réglage adopté, la capacité globale d'écoulement du carrefour est inférieure à la demande prise en compte.

Notation générique : dX_{nec} , où X peut représenter une ligne de feux, une phase ou le carrefour (dT_{nec}).

Calcul :

- Pour une ligne de feux pour véhicules V_i , la durée nécessaire est celle qui assure une capacité égale à la demande (Q_i) pour le débit de saturation S_{\max} et le cycle T_c :

$$dV_{i,nec} = \frac{Q_i}{S_{\max}} \cdot T_c$$

Pour une ligne de feux piétonne, la durée nécessaire est la durée minimum assurant le degré de sécurité et de confort retenu.

Remarque : les durées nécessaires des lignes de feux doivent toujours respecter les durées minimums de vert.

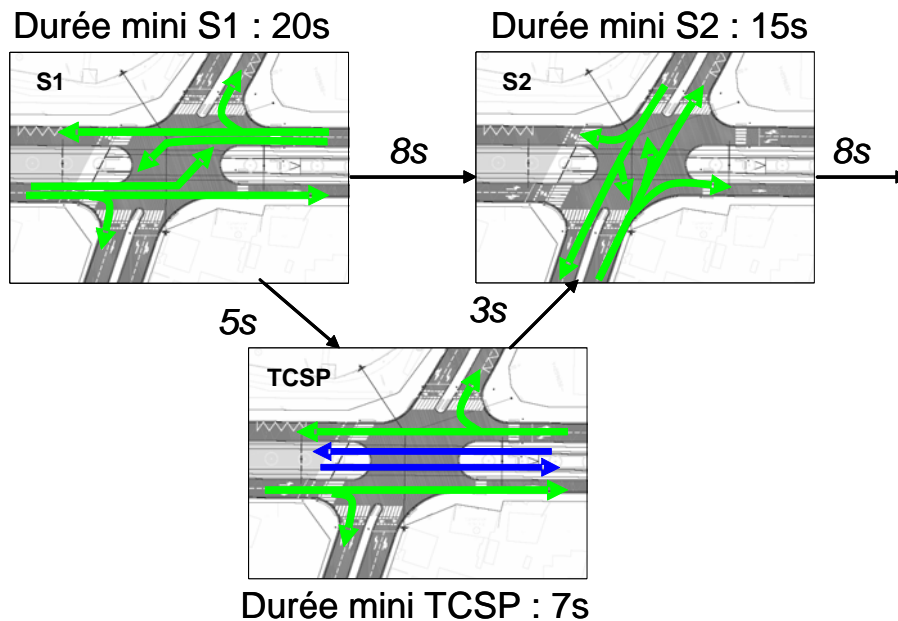
- Pour une phase, la durée nécessaire est donnée par la plus grande durée nécessaire des lignes de feux ouvertes spécifiquement dans la phase (fermée dans la phase précédente et fermée dans la phase suivante)

$$d\Phi_{nec} = \max(dV_i)$$

Il faut éventuellement retrancher aux durées nécessaires des phases le retard à la fermeture intégré dans les interphases si cela ne va pas à l'encontre des temps de sécurité.

Remarque : les durées nécessaires des phases doivent toujours respecter les durées minimums de phases.

- La durée de cycle nécessaire au carrefour (pour une durée de cycle et un phasage donnés) est calculée par la somme des durées nécessaires à l'ensemble des phases en y incluant les temps de sécurité (vu au début de ce chapitre).
- Exemple :



La durée nécessaire du cycle vaut alors, si l'on considère un cycle de 90 secondes, avec effectivement une interruption tramway :

$$dT_{nec} = 20 + 5 + 7 + 3 + 15 + 8 = 58$$

3.3.2.4 La charge du carrefour

Définition : la charge du carrefour est définie comme le ratio durée nécessaire sur durée de cycle. Exprimée en pourcentage, elle illustre le fonctionnement global du carrefour par rapport à la demande, indépendamment des durées attribuées à chacune des phases.

Notation : C en pourcentage

Calcul :

La charge C du carrefour est calculée par le ratio de la durée de cycle nécessaire sur la durée de cycle.

$$C = \frac{dT_{nec}}{T_c}$$

Remarques :

- La charge inclut les temps de sécurité du carrefour. Pour une demande nulle, la charge du carrefour exprimera par conséquent la part des temps perdus dans le cycle (assimilables à des « fuites » de capacité).
- Le calcul de cette charge est réalisé sur l'hypothèse d'une durée de cycle et d'un phasage. Dès que l'une de ces données d'entrée varie, la charge du carrefour doit être recalculée.
- Exemple : 58 secondes de durée nécessaire du cycle donc $C = 58/90 = 64\%$

3.3.2.5 La réserve du carrefour

Définition : la réserve exprime la part relative de capacité restant avant la saturation, la part du de la durée de cycle qui n'est pas nécessaire à l'écoulement de la demande prise en compte. Quand cette réserve est négative, elle exprime la part de la durée de cycle manquante à l'écoulement de la demande.

Notation générique : R (en pour-cent)

Calcul : la réserve est donnée par

$$R = 1 - C$$

Exemple : $1 - 0.64 = 36\%$

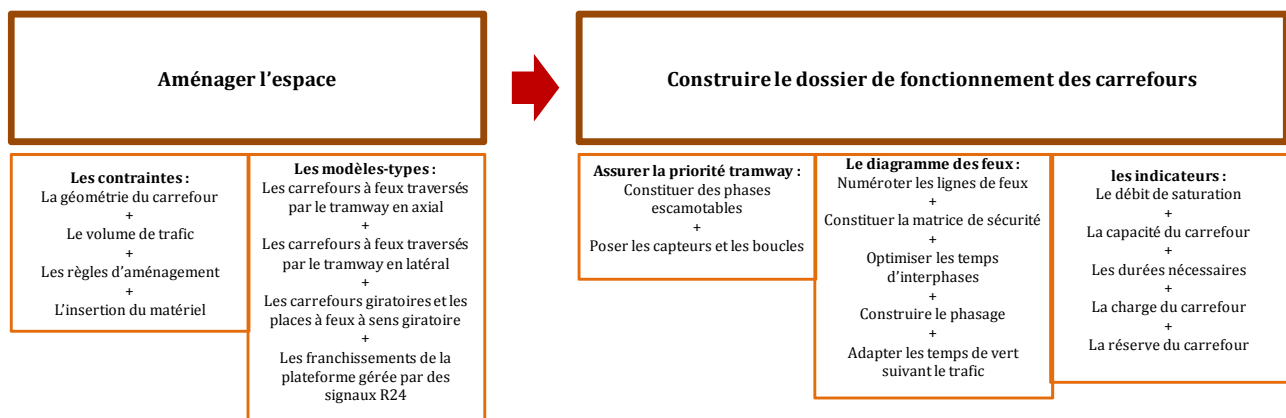
Ces indicateurs sont intégrer dans le logiciel Régula, et permet, a travers une interface claire et simple de vérifier facilement (en modifiant les temps de vert des ligne de feux) si le carrefour est effectivement viable.

SYNTHESE PARTIE 3

Pour construire un dossier de fonctionnement qui garantisse l'atteinte des objectifs de la stratégie globale définie dans le second chapitre, il faut :

- trouver l'aménagement et le fonctionnement adéquat de chaque carrefour en arbitrant entre les différentes contraintes que sont :
 - La géométrie du carrefour
 - Le volume de trafic
 - Les règles d'aménagement
 - L'insertion du matériel
- Assurer la priorité aux tramways, c'est-à-dire :
 - Constituer des phases escamotables
 - Poser les capteurs et les boucles afin de suivre le tramway
- Constituer pour chaque période de la journée un diagramme de feux :
 - Numéroté les lignes de feux
 - Constituer la matrice de sécurité
 - Optimiser les temps d'interphases
 - Construire le phasage
 - Adapter les temps de vert suivant le trafic
- Vérifier que le carrefour tel qu'il est envisagé est viable en mesurant :
 - Le débit de saturation
 - La capacité du carrefour
 - Les durées nécessaires
 - La charge du carrefour
 - La réserve du carrefour

A L'ECHELLE DU CARREFOUR



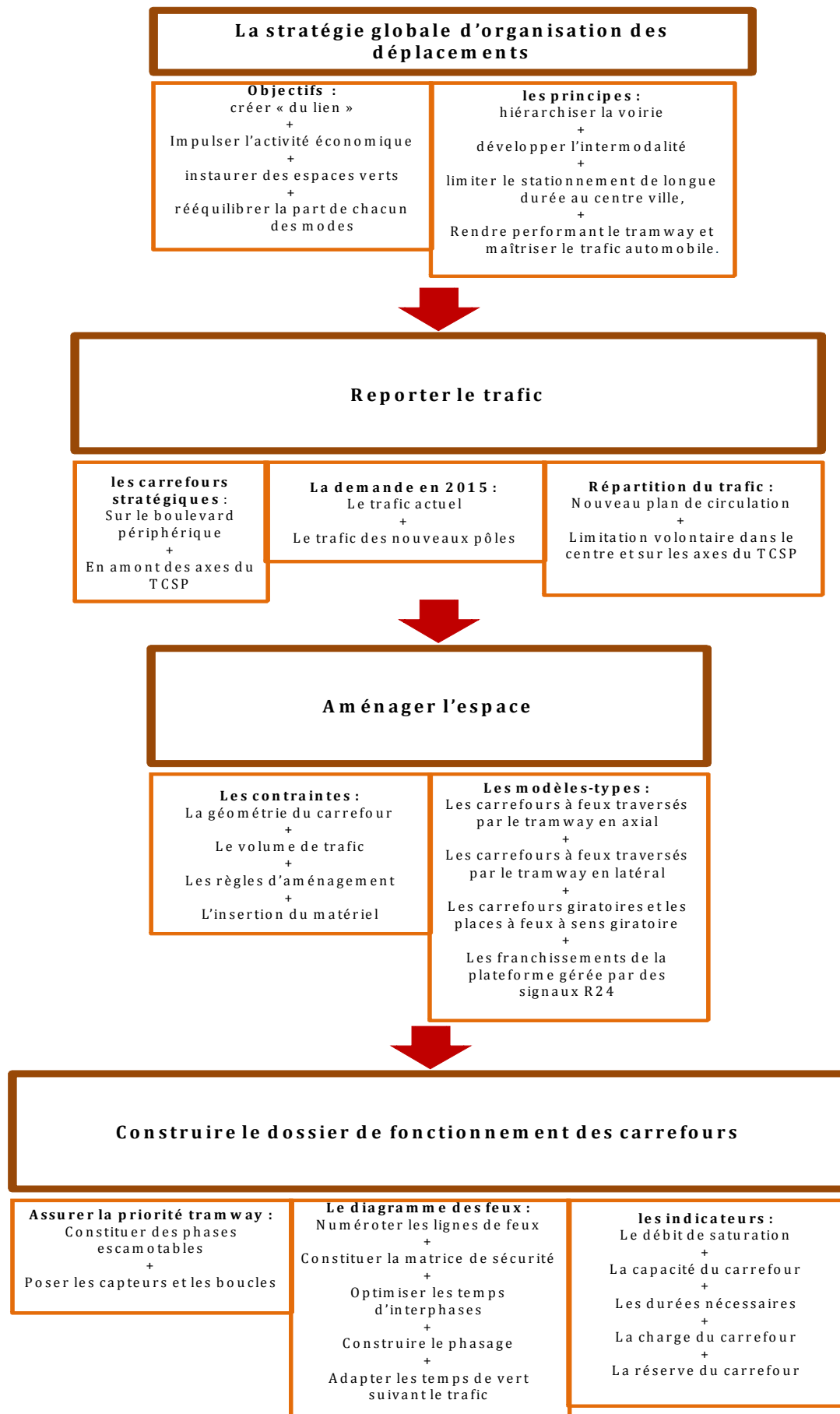
CONCLUSION

Rappelons qu'Egis Mobilité doit répondre à un double objectif, « rendre performant le tramway et maîtriser le trafic automobile », c'est-à-dire assurer la régularité et la bonne vitesse commerciale du tramway tout en préservant le confort des autres usagers, et éviter les reports de trafic indésirables, l'enjeu est de taille. En effet, l'impact du tramway sur la capacité d'écoulement des carrefours est important. Les carrefours situés sur une ligne sont perturbés par un tramway toutes les deux minutes et trente secondes (1 tramway/sens/5 minutes), il y a donc vingt-quatre interruptions par heure liées au passage du tramway. Ces interruptions durent en moyenne quinze secondes, autrement dit, à termes, entre 10 et 15 % du temps, en heure de pointe, sera consacrées au tramway et non à la voiture. Et pour les carrefours situés sur le tronc commun, le nombre d'interruptions étant le double (1 tramway/sens/ligne/5 minutes), 20 à 25 % du temps sera consacré au tramway, ce qui engendre d'importants reports de trafic, qu'il convient d'anticiper et de maîtriser.

Pour atteindre ce double objectif, la réflexion porte à deux niveaux, il est nécessaire de « repenser » la mobilité à une échelle globale, ce qui nous permet de poser les fondements de notre stratégie de régulation avant de réaménager l'espace et le temps des différents usagers au niveau de chaque carrefour. Ces deux niveaux de réflexion sont donc complémentaires. Enfin, il faut réaliser successivement quatre étapes, qui, une fois combinées donneront toute la mesure de la force d'un TCSP :

1. « Définir la stratégie globale d'organisation des déplacements » : cette stratégie est le point d'équilibre de tout le projet qui oriente et structure la suite de l'étude. C'est la description et la traduction technique de la politique de la ville qui dépasse la seule implantation du TCSP.
2. « Reporter le trafic VP » : afin d'appliquer les aménagements et les fonctionnements nécessaires par la suite, il est important de mesurer la demande à l'horizon de la mise en service du TCSP. Il faut donc définir les carrefours stratégiques, ainsi que les mouvements qui seront favorisés ou limités, mesurer le volume trafic à l'horizon de la mise en service, et sa nouvelle répartition dans l'espace.
3. « Aménager l'espace pour les différents modes » : cette étape ne peut se faire qu'une fois les trafics reportés identifiés puisque c'est le trafic qui va déterminer l'espace nécessaire à l'aménagement du carrefour afin de fluidifier la circulation. Cependant, plusieurs autres facteurs rentrent en ligne de compte : comme l'emprise disponible, les règles d'aménagements liées aux autres usagers ou à l'insertion du matériel.
4. « Construire le dossier de fonctionnement des carrefours ». Ce sont les diagrammes des feux qui permettent d'assurer la priorité du tramway, de réguler la circulation et donc d'appliquer et de maîtriser in fine la stratégie globale des déplacements dans l'agglomération.

Nous pouvons faire une synthèse des démarches générales à suivre, pour assurer la performance d'un transport collectif en site propre, et maîtriser le trafic automobile :



BIBLIOGRAPHIE

L'Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière

« *Guide d'aménagement sur le franchissement d'un giratoire par un tramway* » Certu/Strmtg, 2008

« *Guide sur l'usage des surfaces podotactiles par les personnes aveugles ou malvoyantes* » Certu, 2005

« *Guide sur les répéteurs de feux piétons pour personnes aveugles et malvoyantes* » Certu, 2006

« *Guide d'aménagement de voirie pour les transports collectifs* » Certu 2000

« *Déplacements des déficients visuels en milieu urbain* » Certu 2008

« *Recommandations concernant les surfaces tactiles au sol pour personnes aveugles ou malvoyantes* » Certu 2003

« *Zone 30, des exemples à partager* » Certu, 2006

« *Carrefours à feux* » Certu

« *Guide des coussins et plateaux : Recommandations technique* » Certu 2000

« *Connaissance du Rail* », Stambouli 2005

« *Géographie, économie et planification des transports* » Pierre MERLIN, PUF, 1991.

« *L'économie et le vivant* » de René Passet (1996)

« <http://developpementdurable.revues.org/index3579.html> consulté en août 2009, article de Jacques Stambouli « *Les territoires du tramway moderne : de la ligne à la ville durable* »

LES MISSIONS REALISEES LORS DU STAGE

Le stage s'est déroulé du 15 avril au 30 septembre 2009. J'ai pu réaliser diverses missions en lien avec l'étude des deux lignes de tramway de Dijon

- Participation à la mise à jour des études de trafics et à la définition des stratégies de régulation
- Participation à la définition des principes d'aménagement et de fonctionnement des carrefours tramway (recherche bibliographique, analyse de la documentation existante, capitalisation sur les études menées par Egis Mobilité dans ce domaine, participation aux échanges avec l'EOQA et le STRMTG, le Grand Dijon...)
- Participation à la mise à jour des simulations de trafic sous VISSIM
- Implantation de la signalisation lumineuse tricolore
- Construction des dossiers de fonctionnement des carrefours sous REGULA.

La plus grande difficulté lors de ce stage a été de prendre en cours une étude ayant débuté un an avant mon arrivé. Il a donc fallu prendre connaissance et assimiler toutes études faites ultérieurement. Ma maîtrise du sujet est encore loin d'être parfaite, cela dit, le fait d'avoir vécu cette situation m'a donné l'idée de la problématique : une question très générale incitant à montrer tous les points liant du projet, exercice qui m'a été fort utile.

TABLE DES MATIERES

FICHE BIBLIOGRAPHIQUE	1
PUBLICATION DATA FORM.....	2
SOMMAIRE.....	3
REMERCIEMENT	4
GLOSSAIRE	5
INTRODUCTION	6
1. CADRAGE DU SUJET	7
1.1. PRESENTATION GENERALE	7
1.1.1 EGIS Mobilité.....	7
1.1.2 L'appel d'offre.....	7
1.2 CONTEXTE.....	9
1.2.1 L'agglomération dijonnaise	9
1.2.1.1 Séparation croissante entre le domicile et le travail peu favorable aux modes doux	10
1.2.1.2 Des trafics sur les boulevards péricentriques qui profitent peu au centre ville	12
1.2.1.3 Un réseau de transports collectifs saturé.....	13
1.2.2 Le tracé de la ligne A et B.....	14
1.3 LES ENJEUX DE LA MISE EN PLACE D'UN TCSP	17
1.3.1 Problématique.....	17
1.3.2 Méthodologie.....	17
2. CONSTRUCTION D'UNE STRATEGIE GLOBALE POUR L'ORGANISATION DES DEPLACEMENTS.....	21
2.1. LES OBJECTIFS	21
2.1.1 Une politique globale des déplacements.....	21
2.1.2 ...permise par la mise en place d'un TCSP	22
2.2 LES PRINCIPES DE LA STRATEGIE	24
2.2.1 Hiérarchiser la voirie	25
2.2.2 Développer l'intermodalité	26
2.2.2.1 Transports collectifs/voitures particulières	27
2.2.2.2 Transports collectifs / Transports collectifs	28
2.2.2.3 Transports collectifs/modes doux	29
2.2.3 Limiter le stationnement.....	30
2.2.4 Assurer la priorité au tramway et maîtriser le trafic automobile	32
2.3 LES MESURES PREALABLES A LA MISE EN ŒUVRE DE LA STRATEGIE.....	32
2.3.1 Identifications des carrefours verrous.....	33
2.3.2 Mesure des évolutions de trafic	35
2.3.2.1 Mesurer le trafic actuel	35
2.3.2.2 Prendre en compte les projets d'urbanisations et intégrer les trafics supplémentaires générés	36
2.3.2.3 Reporter les trafics	38
SYNTHESE PARTIE 2	42
3. ETUDE TECHNIQUE POUR L'AMENAGEMENT ET LA REGULATION DES CARREFOURS	43
3.1 RENDRE COHERENT L'AMENAGEMENT ET LE FONCTIONNEMENT	43
3.1.1 Notions générales	44
3.1.1.1 Notions au niveau du carrefour	44
3.1.1.2 Notion de phase et de sous-phase	45
3.1.1.3 Notion d'escamotage.....	47
3.1.1.4 Notion d'interphase.....	47
3.1.2 Les facteurs déterminants.....	48
3.1.2.1 Les contraintes géométriques	48
3.1.2.2 Les volumes de trafics à écouler	48

3.1.2.3	Les règles d'aménagement liées aux différents modes.....	48
3.1.2.4	L'insertion du matériel.....	49
3.1.3	<i>Aménagement et fonctionnement : carrefours types</i>	50
3.1.3.1	Carrefour à feux avec la plateforme TCSP en axial	50
3.1.3.2	Carrefour à feux avec traversée latérale de la plateforme.....	52
3.1.3.3	Carrefours giratoires et places à feux à sens giratoire.....	54
3.1.3.4	Franchissement de la plateforme gérée par des signaux R24	57
3.2	FONCTIONNEMENT DES CARREFOURS : PRISE EN COMPTE DE LA PRIORITE TRAMWAY	57
3.2.1	<i>La priorité maximale</i>	57
3.2.2	<i>Condition principale</i>	58
3.2.3	<i>Objectif et principe d'application</i>	58
3.2.4	<i>La détection du tramway</i>	59
3.2.5	<i>Le suivi du tramway</i>	59
3.3	CONSTRUCTION DU DOSSIER DE FONCTIONNEMENT	60
3.3.1	<i>Principes de construction du dossier de fonctionnement</i>	61
3.3.1.1	Numéroter les lignes de feux.....	61
3.3.1.2	Mesurer les temps de sécurité	62
3.3.1.3	Optimiser les temps d'interphases	64
3.3.1.4	Construire le phasage	64
3.3.1.5	Adapter les temps de vert suivant les trafics.....	65
3.3.2	<i>Les indicateurs</i>	66
3.3.2.1	Débits de saturation	67
3.3.2.2	La capacité d'une entrée ou d'un carrefour	67
3.3.2.3	Les durées nécessaires	68
3.3.2.4	La charge du carrefour.....	69
3.3.2.5	La réserve du carrefour	70
SYNTHESE PARTIE 3		71
CONCLUSION		72
BIBLIOGRAPHIE		74
LES MISSIONS REALISEES LORS DU STAGE		75
TABLE DES MATIERES		76
TABLES DES ILLUSTRATIONS		78
ANNEXES		79

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 : Fiche technique des lignes A et B.....	15
Tableau 2 : Les principes de bases pour la réorganisation des bus.....	28
Figure 1 : Le grand Dijon et ses 22 communes en 2007	9
Figure 2 : Localisation des emplois dans le Grand Dijon.....	10
Figure 3 : Répartition des migrations alternantes	11
Figure 4 : Principaux flux d'actifs	11
Figure 5 : Répartition des modes de déplacement.....	12
Figure 6 : La structure des flux automobiles sur les boulevards péricentriques.....	13
Figure 7 : Tracé de la ligne A et B	14
Figure 8 : Les pôles générateurs desservis par la ligne A et B	16
Figure 9 : Méthodologie suivie.....	18
Figure 10 : Capacité offerte sur le Boulevard de la Trémouille (Dijon) dans la situation actuelle (en haut) et dans la situation projetée avec TCSP (en bas).....	23
Figure 11 : Charge de trafic VP actuelle sur les axes principaux	25
Figure 12 : Mesure globale, hiérarchisation de la voirie	26
Figure 13 : Mesure globales, développement de l'intermodalité.....	30
Figure 14 : Evolution du nombre de place de stationnement public	31
Figure 15 : Les carrefours verrous à l'échelle de la ville	33
Figure 16 : Principe globale de fonctionnement des carrefours.....	34
Figure 17 : Exemple de schéma structurel des carrefours pour les trafics actuels	36
Figure 18 : Exemple de représentation des trafics générés par les nouvelles zones d'habitats : secteur sud.....	37
Figure 19 : Exemple de représentation de la répartition des trafics générés par la nouvelle zone d'habitat : « Etamat », secteur sud.....	38
Figure 20 : Exemple de représentation des modifications du plan de circulation : secteur centre	39
Figure 21 : Méthode globale pour le report de trafic.....	40
Figure 22 : Exemple de représentation des trafics directionnels à l'horizon de la mise en service du tramway : secteur centre	41
Figure 23 : Illustration du vocabulaire des carrefours à feux.....	45
Figure 25 : Exemple de représentation d'une phase.....	46
Figure 24 : Les conflits interdits et autorisés	1
Figure 26 : Illustration du conflit vélo/tram (plateforme latérale).....	49
Figure 27 : Le suivi du tramway par l'utilisation de capteurs.....	60
Figure 28 : Exemple d'illustration de la numérotation des lignes de feux (hors tramway)	62
Figure 29 : Illustration du point de conflit : le véhicule rouge quitte le conflit, le véhicule bleu s'engage.....	63
Figure 30 : Représentation d'une matrice de sécurité	64
Figure 31 : Diagramme de feux.....	66

ANNEXES

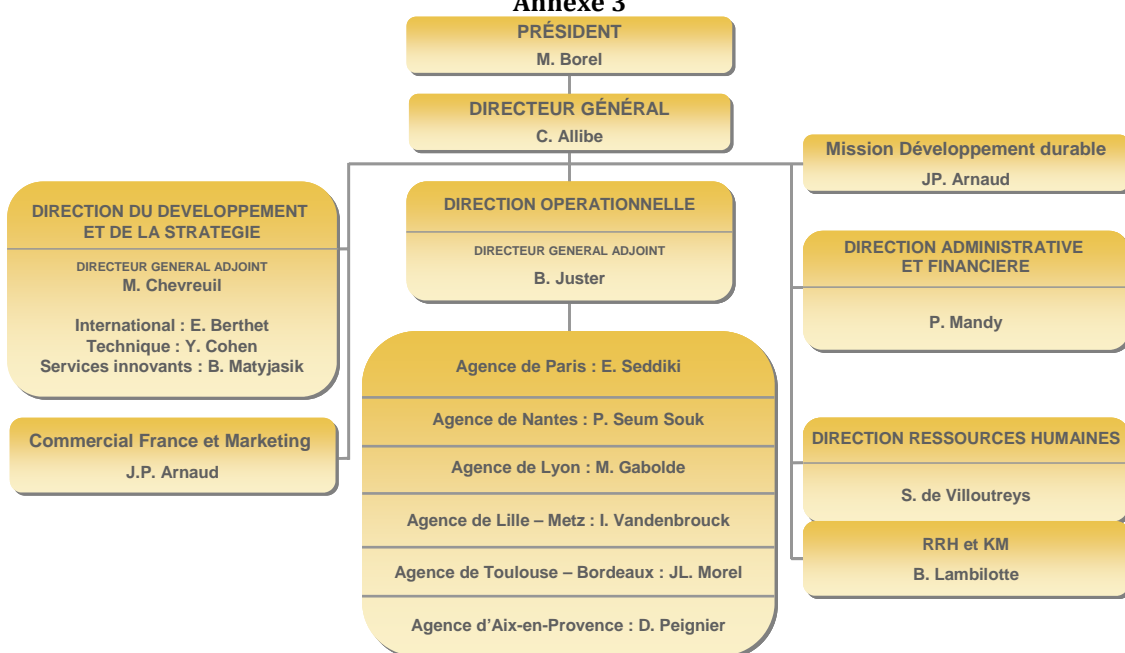
Annexe 1



Annexe 2



Annexe 3



Annexe 4



Annexe 5

LES USAGERS DANS LES ZONES 30

La zone 30 est un espace public où l'on cherche à instaurer un équilibre entre les pratiques de la vie locale et la fonction circulaire en abaissant la vitesse maximale autorisée pour les véhicules. Ceci doit aider au développement de l'usage de la marche en facilitant les traversées pour les piétons et l'usage du vélo.



- Un panneau B30 à l'entrée et B51 à la sortie doit être mis en place, à cela peut s'ajouter tout aménagement qui permet d'augmenter la lisibilité et de réduire les vitesses dès l'entrée.
- La signalisation à l'intérieur de la zone doit être la plus faible possible.

(Article R110-2 : « ...zone 30 : section ou ensemble de sections de voies constituant une zone affectée à la circulation de tous les usagers... » ; « ...l'ensemble de la zone est aménagé de façon cohérente avec la limitation de vitesse applicable... »)

LES CYCLES

Les vélos et les modes motorisés se partagent la chaussée sans nécessité de ségrégation avec des voies dédiées.

- **Aucun marquage, les vélos roulent avec les modes motorisés.**
- **Sauf en cas de double sens cyclable dans une rue à sens unique, d'une chicane, ou d'une écluse dotée d'un « by-pass ».** Ces aménagements cyclables ne doivent en aucun cas, être réalisés sur le trottoir ou dans l'espace dédié aux piétons (ceci irait à l'encontre de l'esprit de la loi n°2005-102 du 11/02/2005 relative au handicap)
- Le stationnement pour vélos est fortement conseillé.

Article R110-2 : « ...Toutes les chaussées sont à double sens pour les cyclistes, sauf disposition différentes prises par l'autorité investie du pouvoir de police... »

LES PIETONS

Les piétons n'ont pas de priorité particulière et ils ne sont pas autorisés à circuler sur toute la largeur de la chaussée. La règle est donc la priorité au piéton régulièrement engagé lors de sa traversée.

- **Aucun marquage** (les aménagements doivent donc tendre à faciliter la traversée des piétons en tout point de la chaussée, en limitant le recours aux passages piétons et en évitant les bordures hautes lorsque cela est possible).
- **il est recommandé, lorsque le trafic VP dépasse les 3000v/j, d'implanter un passage pour piéton.**

LES PERSONNES A MOBILITE REDUITE

- **Aucun marquage, l'aménageur devra appliquer les aménagements urbains classiques applicables aux piétons en zone 30 (ci-dessus).** A la lecture de la loi n°2005-102 du 11 février 2005, des décrets n°2006-1657 et n°2006-1658 du 21 décembre 2006 ainsi que de l'arrêté du 15 janvier 2007, aucune disposition spécifique concernant les zones 30 n'est précisée.
- **il est recommandé d'implanter des BEV dès lors qu'il y a abaissé de trottoir** (ressaut de moins de 2 cm) **ou chaussée surélevée (plateau)**, même si les traversées piétonnes ne sont pas matérialisées (pas de marquage).

Exemple de plateau à niveau inférieur du trottoir (avec BEV) : la différence de niveau permet d'informer du danger.

